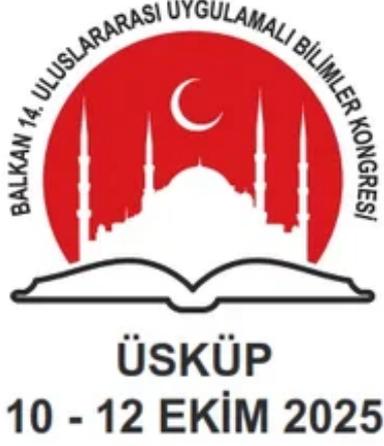


CONFERENCE BOOK



BALKAN 14. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 10-12, 2025
SKOPJE

Published by Academy Global Publishing House



www.balkankongresi.org



**BALKAN
14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 10-12, 2025
SKOPJE**

**Edited By
PROF. DR. NAILE BILGILI**

Issued: 25.10.2025
ISBN: 978-625-5694-40-9

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 63 papers have been presented by Turkish participants and 84 papers
by foreign participants.**

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

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
Academy Global–2025©

CONFERENCE ID

BALKAN 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
OCTOBER 10-12, 2025
SKOPJE

ORGANIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS
All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Iran – Indonesia – Latvia- Malaysia- India- Thailand- Saudi Arabia- Romania- Jordan
- South Africa- Greece.- Brazil- China- Pakistan- Uzbekistan- - Morocco- Nigeria- Egypt-
France- Bulgaria – Georgia – Algeria-

PRESENTATION
Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

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

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. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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 - Azərbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azərbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azərbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizaji

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. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

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 Fırıncioğulları – 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. Eda Bozkurt – 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. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
- 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
- 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 – Ozbekistan
- 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 – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracıgan – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye
- Dr. Ayşe Baran - Turkiye
- Dr. Dadash Mehravari – Iran
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hemşirelik Fakültesi Dekanlığı

Sayı : E-98978265-100-1174800
Konu : Dilekçe(Prof. Dr. Naile
BİLGİLİ)

19.02.2025

Sayın Prof. Dr. Naile BİLGİLİ
Halk Sağlığı Hemşireliği Anabilim Dalı Başkanlığı - Öğretim Üyesi

İlgi : 17.02.2025 tarihli ve E-87008936-100- 1173474 sayılı yazı.

İlgi dilekçenizde belirttiğiniz "Yükseköğretim Kurulu'nun 15.06.2023 tarihli oturumunda doçentlik başvuruları şartları ile ilgili değişiklik önerileri kapsamında Sağlık Bilimleri Temel Alanı'nda gerçekleştirilecek olan madde 8'in Bilimsel Toplantı başlığı altındaki b bendi" uyarınca, Academy Global Conferences & Publishing (<https://www.akademikongre.org/registration>) tarafından 2025 yılında düzenlenecek olan bilimsel etkinliklerde görev alma talebiniz konusunda bilgilendirildim.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Sultan AYAZ ALKAYA
Dekan

Belge Doğrulama Kodu :BSCMHSP653

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

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



Emniyet Mahallesi Bandırma Caddesi No :6/1 06560 Yenimahalle/ANKARA
Tel:0 (312) 202 20 00 Faks:0 (312) 221 32 02
İnternet Adresi :<http://gazi-universitesi.gazi.edu.tr/>
Kep Adresi: gaziuniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için :Onur Akın
Bilgisayar İşletmeni
Telefon No:0312 216 26 27





**BALKAN 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 10-12, 2025
SKOPJE**

NO : **AC- 14B - 2025. 438u– 3056**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

29/10/2025

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **Balkan 14. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi 10-12 Ekim 2025** tarihlerinde Üsküp’de 23 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 147 bildirinin 63’ü Türkiye’den, 84’ü ise farklı 22 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır.” değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Naile Bilgili

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ART Academy 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 10-12, 2025
SKOPJE

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

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

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerinizi 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 yapılabilmektedir.**
- 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,

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN	1	GAZAP ÜZÜMLERİ ROMANINDA SOSYAL DARWİNİZM: KAPİTALİST SİSTEM ELEŞTİRİSİ VE HAYATTA KALMA MÜCADELESİ	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN
		2	SOSYAL DARWİNİZM'İN ELEŞTİRİSİ OLARAK THE MUHTEŞEM GATSBY: ROMAN VE 2013 FİLM UYARLAMASINDA SINIFSAH HİYERARŞİNİN DEŞİFRESİ	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN
		3	GLOBAL HEALT CRISIS'IMPACT ON SINGLE PARENT FAMILİES	Dr. Öğr. Üyesi Fikriye Rana KARA
		4	TEK EBEVEYNLİ AİLELERDE SOSYAL DESTEK MEKANİZMALARININ ROLÜ VE ÖNEMİ	Dr. Öğr. Üyesi Fikriye Rana KARA
		5	KADINLARIN GÖÇ SÜRECİNDEKİ ROLÜ VE KARŞILAŞTIKLARI ZORLUKLAR	Yüksek Lisans Öğrencisi ASLIHAN BAYINDIROĞLU Doçent Doktor HÜLYA ÇAKIR
		6	ANALYSIS OF PSYCHOLOGICAL, ECONOMIC AND SOCIAL DIFFICULTIES FACED BY BALKAN IMMIGRANTS DURING THE INTEGRATION PROCESS - THE AMASYA EXAMPLE	Sosyal Bilgiler Öğretmeni Serhat KAVUK Prof. Dr. Asım ÇOBAN
		7	ANALYSIS OF THE GENERAL SITUATION OF RELATIONS BETWEEN NORTH MACEDONIA AND TÜRKİYE BASED ON CULTURE	Sosyal Bilgiler Öğretmeni Serhat KAVUK Prof. Dr. Asım ÇOBAN

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Ali APALI	1	MAMÜRATİL AZİZ İLE TEVAABİNDE BULUNAN VAKIFLARA GELİR SAĞLAYAN MUSAKKAFAT VE MÜSTAGALLATININ KAYITLARI	Prof. Dr. Ali APALI Meral ÇİFTÇİ
		2	TİRE KAZASI MEMURLARININ 1256 (H.) SENESİNİN RABİÜLEVVEL AYINA AİT MAAŞLARININ MUHASEBE KAYITLARI	Prof. Dr. Ali APALI Meral ÇİFTÇİ
		3	THE RELATIONSHIP BETWEEN THE GOLD-SILVER RATIO AND U.S. STOCK MARKETS	Dr. Öğr. Üyesi BÜLENT YILDIZ
		4	TÜRKİYE'DEKİ EBEVEYNLERİN ÇOCUKLARINA YÖNELİK SATIN ALMA DAVRANIŞLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Arş. Gör., Refik Erdem KOÇ
		5	YÜKSEKÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN TEMEL FİNANSAL BİLGİ DÜZEYLERİ: CİNSİYET VE KUŞAK FARKLILIKLARI	Doç. Dr. Meryem ÖZTÜRK
		6	SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA GÜVENLİK İKLİMİ ALGISI İLE ÖRGÜTSEL BAĞLILIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Uzm. MAHMUT TAHA YILDIRIR Dr. Öğr. Üyesi SAİT SÖYLER

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Şerife Evrim ARICI	1	ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SELECTED ESSENTIAL OILS AGAINST RHIZOCTONIA SOLANI IN POTATO TUBER	Prof. Dr. Şerife Evrim ARICI
		2	ASSESSMENT OF THE INHIBITORY EFFECT OF BEAUVERIA BASSIANA CULTURE FILTRATES ON SPORE GERMINATION OF THE PLANT PATHOGEN BOTRYTIS CINEREA	M.Sc. Agri. Eng. Melike YILDIRIM Prof. Dr. Şerife Evrim ARICI
		3	CULTIVATION AND ECONOMIC IMPORTANCE OF CORIANDER (CORIANDRUM SATIVUM L.)	Prof. Dr. Belgin COŞGE ŞENKAL
		4	RELATIONSHIPS OF MORPHOLOGICAL CHARACTERS WITH FRUIT YIELD AND ESSENTIAL OIL CONTENT IN CORIANDER (CORIANDRUM SATIVUM L.)	Prof. Dr. Belgin COŞGE ŞENKAL
		5	AMİNOASİTLERİN BAHÇE BİTKİLERİNDE KULLANIMI	Doç. Dr. Servet ARAS Doç. Dr. Müjgan GÜNEY Doç. Dr. Murat GÜNEY Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDÖNER ÇOBAN
		6	BAHÇE BİTKİLERİNDE SEL BASKINI STRESİNİN ETKİLERİ	Doç. Dr. Servet ARAS Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDÖNER ÇOBAN Doç. Dr. Müjgan GÜNEY Doç. Dr. Murat GÜNEY
		7	THERAPEUTIC ROLE AND ORGAN-LEVEL EFFECTS OF MORIN: LIVER, KIDNEY, OVARY, AND BRAIN	Dr. Öğr. Üyesi Serpil AYGÖRMEZ Prof. Dr. Mushap KURU Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR
		8	THE EFFECT OF LATE FROST DAMAGE ON FLOWERING, FRUIT SET, AND FLORAL TISSUE DAMAGE IN DIFFERENT APPLE CULTIVARS	Osman KURUDERE Ali YILMAZ Ebru BAŞKIR Fatma Nur ÖZCAN Muzaffer İPEK
		9	NON-CONVENTIONAL APPROACHES FOR ASSESSING SPERM QUALITY IN FISH: ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES, BIOSENSORS, AND OTHER TECHNOLOGICAL APPLICATIONS	Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ
		10	ECO-FRIENDLY STRATEGIES IN AQUACULTURE: THE IMPACT OF PLANT EXTRACTS ON FISH SPERM QUALITY AND CRYOPRESERVATION	Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Gülnida EKMEKÇİ	1	A SUPPLEMENT FOR CHILDREN IN THE TAN NEWSPAPER PUBLISHED IN KOSOVO: BONCUK	Assist. Prof. Dr. Salih OKUMUŞ MA Student, İrem SUDANÇIKMAZ
		2	MUĞLA'NIN ULA İLÇESİNDE SÖZLÜ KÜLTÜR HAZİNESİ YAŞLILAR ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Önlisans Mezunu, FATMA BEYDİLLİ Öğr.Gör.Dr. BAHAR BALCI AYDOĞAN
		3	THE ETHICAL AND EXISTENTIAL DIMENSIONS OF THE LIGHT TRIAD: AN EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF PHILOSOPHICAL COUNSELING	Master's Candidate, Ecenur Tumlucalı
		4	DEZENFORMASYONA KONU HABERLERİN DÜZELTME GEREKÇELERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ	Prof. Dr. Mustafa İNCE Gülnida EKMEKÇİ
		5	TÜRKİYE'DE EN ÇOK İZLENEN TV DİZİLERİNDE MESLEKLERİN CİNSİYETE GÖRE KONUMLANDIRILIŞI	Prof. Dr. Mustafa İNCE Gülnida EKMEKÇİ
		6	THE CONSTRUCTION OF THE IDEAL WOMAN IN TURKEY: SOCIAL NORMS, GENDER ROLES, AND PSYCHOSOCIAL EFFECTS	Öğr. Gör. TUĞÇE YILDIRIM DAL Dr. Öğr. Üyesi DURSUN YILMAZ
		7	THE IMPACT OF IDEALIZED FEMALE IMAGERY IN COSMETIC ADVERTISEMENTS ON CONSUMERS' SELF-CONFIDENCE AND BODY PERCEPTION: A QUALITATIVE ANALYSIS	Dr. Öğr. Üyesi DURSUN YILMAZ Öğr. Gör. TUĞÇE YILDIRIM DAL

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Doç. Dr., BEYZA ERKOÇ	1	EXAMINATION OF SOME FACTORS AFFECTING THE UNDER 5 MORTALITY RATE IN TÜRKİYE	Öğr. Gör. Dr. İsmail BİÇER Dr. Öğr. Üyesi Murat KONCA
		2	ÇOCUK HAKLARI PERSPEKTİFİNDEN OKUL SOSYAL HİZMETİ UYGULAMALARI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ	Gamze Parlak Doç. Dr. Bilge Türkoğlu
		3	GREEN SOCIAL WORK: KEY ISSUES AND CONTEMPORARY DISCUSSIONS	Social Worker, Eda KAYA ÖRK Assoc.Prof.Dr. Sinan AKÇAY
		4	HEMODIALYSIS PATIENTS AND SOCIAL WORK	Doç. Dr., BEYZA ERKOÇ
		5	SINGLE-PARENT FAMILIES	Doç. Dr., BEYZA ERKOÇ
		6	A REVIEW OF ACADEMIC STUDIES ON HIKIKOMORİ IN TÜRKİYE	Lecturer (PhD), FATİH CEBECİ Assistant Professor, Dr., SELDA MEYDAN
		7	DİJİTAL SOSYAL HİZMET UYGULAMALARI: REFAH ÜLKELERİNDEKİ DENEYİMLER VE TÜRKİYE'YE UYARLANABİLİRLİK	Dr. Öğr. Üyesi YAVUZ ASLAN
		8	FROM DEVELOPING TO DEVELOPED: DOMESTIC MIGRATION AND THE IMPACTS ON WOMEN'S SOCIAL STATUS	Asst. Prof. Hasan Giray Ankara, Asst. Prof. Hakan Değerli
		9	THE IMPACT OF SOCIAL WORK PROFESSION IN MEETING WOMEN'S PSYCHOLOGICAL AND SOCIAL NEEDS	Social Work, Şükür BARDAKCI

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç. Dr. HARE KILIÇASLAN	1	THE POLITICS OF DAYLIGHT: CLIMATE JUSTICE, HOUSING AND URBAN INEQUALITIES IN ISTANBUL	Dr. EMRE DEMİRTAŞ
		2	USER-ORIENTED FIELD OBSERVATIONS CONDUCTED AT THE GANITA COASTAL AREA IN TRABZON	Öğrenci, AYŞE RÜVEYDA AYDIN Öğrenci, DİLAY ONURLUBAŞ Öğrenci, KÜBRA GÜLER Doç. Dr. HARE KILIÇASLAN
		3	REMOVAL OF DISPERSE RED 343 DYE FROM TEXTILE WASTEWATER BY OZONATION: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARAMETER EFFECTS	Dr. Meryem AKSU Assos. Prof. Dr. Nazire Pınar TANATTI
		4	ZEYTİN YAPRAĞI İLE BOYA KİRLİLİĞİNE DOĞAL ÇÖZÜM: MALAHİT YEŞİLİ UZAKLAŞTIRIMI SONRASI FİTOTOKSİSİTE ANALİZİ	BELİZ TURAN Prof. Dr. SEMRA MALKOÇ
		5	ZEYTİN YAPRAĞI BAZLI BİYOSORBAN İLE MALAHİT YEŞİLİNİN GİDERİMİNİN ADSORPSİYON PARAMETRELERİ VE İZOTERM ANALİZLERİYLE İNCELENMESİ	Nur GÜNDÜZ Prof. Dr. SEMRA MALKOÇ

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Mohammed Al-Rashid	1	INNOVATIVE TEACHING STRATEGIES IN HIGHER EDUCATION	Dr. Ahmed Al-Mutairi Dr. Sara Al-Fahad
		2	DIGITAL LEARNING PLATFORMS AND STUDENT ENGAGEMENT	Dr. Leila Mansouri Prof. Dr. Reza Khatami Neda Farhadi
		3	CURRICULUM DEVELOPMENT FOR MULTILINGUAL CLASSROOMS	Dr. Rasha Al-Haddad Omar Al-Masri
		4	THE ROLE OF TEACHER TRAINING IN IMPROVING EDUCATIONAL OUTCOMES	Dr. Fadi Khalil Dr. Lina Youssef Dr. Samir Nassar
		5	EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Dr. Fatemeh Rahimi Dr. Ali Karimi
		6	BLENDED LEARNING APPROACHES IN UNIVERSITY SETTINGS	Amal Hassan Dr. Yasser Ibrahim Prof. Dr. Huda Mahmoud
		7	STUDENT-CENTERED LEARNING AND ACADEMIC ACHIEVEMENT	Dr. Mohammed Al-Rashid Dr. Aisha Al-Salem
		8	TECHNOLOGY INTEGRATION IN MODERN CLASSROOMS	Dr. Hassan Jafar Dr. Mariam Abbas Dr. Ali Hussein Prof. Dr. Zainab Karim

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Bassam Darwish	1	LANGUAGE AND IDENTITY IN CONTEMPORARY ARABIC NOVELS	Ahmed Al-Farouqi Layla Hassan
		2	POETIC TRADITIONS AND SYMBOLISM IN PERSIAN LITERATURE	Dr. Reza Mahdavi Nilofar Azimi Farhad Ghanbari
		3	THE INFLUENCE OF CLASSICAL TURKISH POETRY ON MODERN PROSE	Prof. Dr. Mehmet Erdem Zeynep Kaya
		4	ORAL STORYTELLING AND CULTURAL MEMORY IN IRAQI LITERATURE	Samira Al-Khalidi Ali Hussein Dr. Fadwa Salman
		5	THEMES OF EXILE AND BELONGING IN PALESTINIAN POETRY	Dr. Rami Barakat Aisha Khalil
		6	WOMEN'S VOICES IN CONTEMPORARY SYRIAN FICTION	Nour Haddad Rana Al-Shami Prof. Dr. Bassam Darwish
		7	LINGUISTIC HERITAGE AND IDENTITY FORMATION IN LEBANESE DRAMA	Karim Mansour Dr. Leila Choueiri
		8	INTERTEXTUALITY IN MODERN YEMENI SHORT STORIES	Huda Al-Saqqaf Dr. Mohammed Noman Salma Al-Mutawakkil Fares Abdullah

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu	1	SPATIAL ANALYSIS OF FOOTBALL PERFORMANCE USING DIGITAL TRACKING TECHNOLOGIES	Prof. Dr. Kamran Mammadov Assoc. Prof. Dr. Leyla Aliyeva Rashad Huseynli
		2	THE ROLE OF SPORTS NUTRITION IN ENHANCING ATHLETIC ENDURANCE: A CASE STUDY IN YOUTH TEAMS	Assoc. Prof. Dr. Aygun Taghizada Nijat Safarov
		3	PSYCHOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE SUCCESS OF ELITE WRESTLERS	Prof. Dr. Elchin Abbasov Samira Karimova Assis. Prof. Dr. Rauf Mehdiyev
		4	KINEMATIC APPROACHES TO OPTIMIZE GYMNASTIC TRAINING ROUTINES	Prof. Dr. Andrei Popescu Maria Ionescu Assoc. Prof. Dr. Elena Dobre
		5	EFFECTIVENESS OF RECOVERY STRATEGIES IN PROFESSIONAL HANDBALL TEAMS	Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu Ioana Marinescu
		6	MOTIVATIONAL DYNAMICS IN YOUTH SPORTS DEVELOPMENT PROGRAMS Prof. Dr. Sorin Vasilescu	Anca Radu Dr. Mihai Florescu
		7	THE IMPACT OF CLIMATE CONDITIONS ON MARATHON PERFORMANCE IN EAST AFRICA	Assoc. Prof. Dr. John Mwangi Peter Otieno Samuel Njoroge
		8	ANALYSIS OF INJURY PATTERNS IN PROFESSIONAL FOOTBALL LEAGUES OF WEST AFRICA	Dr. Kofi Mensah Assoc. Prof. Dr. Ama Boateng
		9	PHYSIOLOGICAL RESPONSES TO HIGH-ALTITUDE TRAINING IN ELITE RUNNERS	Prof. Dr. Tesfaye Bekele Dr. Meron Alemu Hanna Kidane
		10	THE ROLE OF TRADITIONAL SPORTS IN PRESERVING CULTURAL HERITAGE IN NORTH AFRICA	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Ben Youssef

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Kwame Mensah	1	THE IMPACT OF URBANIZATION ON SOCIAL BEHAVIOR AND COMMUNITY INTERACTIONS	Nijat Mammadov Leyla Aliyeva Togrul Rustamov
		2	SOCIAL MEDIA INFLUENCE ON YOUTH CULTURE AND IDENTITY FORMATION	Assoc. Prof. Dr. Farid Huseynov Aynur Guliyeva
		3	GENDER ROLES AND FAMILY DYNAMICS IN MODERN SOCIETY	Prof. Dr. Elchin Safarov Nigar Hasanli
		4	THE EFFECTS OF MIGRATION ON CULTURAL INTEGRATION AND SOCIAL COHESION	Dr. Ioana Popescu Alina Ionescu Mihai Dumitrescu
		5	EDUCATIONAL INEQUALITIES AND THEIR IMPACT ON SOCIAL MOBILITY	Assoc. Prof. Dr. Sorin Marinescu Elena Georgescu
		6	SOCIAL PERCEPTIONS OF HEALTHCARE IN AFRICAN URBAN COMMUNITIES	Prof. Dr. Kwame Mensah Amina Okafor
		7	THE ROLE OF TRADITIONAL BELIEFS IN SHAPING MODERN SOCIAL NORMS	Dr. Thabo Nkosi Fatoumata Diallo Assoc. Prof. Dr. Chike Obi
		8	YOUTH ENGAGEMENT IN POLITICAL PROCESSES AND CIVIC PARTICIPATION	Prof. Dr. Adebayo Adekunle Nia Kambale Dr. Zuri Mwangi

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Tamer Fahmy Assoc. Prof. Dr. Dina Adel	1	THE IMPACT OF URBANIZATION ON SOCIAL RELATIONSHIPS AND COMMUNITY STRUCTURE	Prof. Dr. Ali Rezaei Dr. Mahsa Karimi Hamed Fathi
		2	SOCIAL MEDIA AND ITS EFFECTS ON YOUTH IDENTITY FORMATION	Dr. Leila Mohammadi Saeid Tavakoli
		3	GENDER ROLES AND FAMILY DYNAMICS IN MODERN IRANIAN SOCIETY	Assoc. Prof. Dr. Narges Ahmadi Fatemeh Hosseini
		4	THE ROLE OF EDUCATION IN SOCIAL MOBILITY AND INEQUALITY	Dr. Amir Hossein Zarei
		5	CULTURAL HERITAGE AND COLLECTIVE MEMORY IN CONTEMPORARY EGYPT	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Sara Hassan Mona Khalil
		6	SOCIAL INEQUALITY AND ACCESS TO HEALTHCARE SERVICES IN URBAN EGYPT	Dr. Tamer Fahmy Assoc. Prof. Dr. Dina Adel
		7	YOUTH UNEMPLOYMENT AND ITS SOCIOECONOMIC IMPACT IN KAZAKHSTAN	Zhanar Mukhamedova Dr. Timur Sadykov Prof. Dr. Aigul Bektayeva
		8	TRADITIONAL CUSTOMS AND MODERNIZATION: CHALLENGES TO KAZAKHSTAN RURAL COMMUNITIES	Dr. Yerlan Akhmetov Assis. Prof. Dr. Gulnara Zhaksylykova

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Karim Toumi	1	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON SOCIAL INTERACTIONS AND COMMUNITY DYNAMICS	Amine Bensalem Prof. Dr. Laila Cherifi Nourredine Haddad
		2	ETHICAL IMPLICATIONS OF AI-DRIVEN DECISION MAKING IN MODERN SOCIETY	Sofia Khelifi Assoc. Prof. Dr. Karim Toumi
		3	SOCIAL MEDIA ANALYTICS AND AI: UNDERSTANDING HUMAN BEHAVIOR IN DIGITAL SPACES	Rania Mansour Dr. Hossam El-Sayed Mohamed Fathi
		4	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SHAPING PUBLIC OPINION AND POLITICAL ENGAGEMENT	Aya Mostafa Assoc. Prof. Dr. Omar Khalil
		5	AI-POWERED URBAN PLANNING: TRANSFORMING SOCIETAL INFRASTRUCTURES	Priya Sharma Dr. Anil Gupta Assis. Prof. Dr. Rohit Mehra
		6	SOCIAL INEQUALITY AND MACHINE LEARNING: CHALLENGES AND SOLUTIONS	Dr. Karan Singh
		7	THE INTERSECTION OF AI, CULTURE, AND SOCIAL NORMS IN DEVELOPING SOCIETIES	Deepa Reddy Prof. Dr. Sandeep Verma
		8	AI AND COLLECTIVE HUMAN BEHAVIOR: PREDICTIVE MODELS AND SOCIAL TRENDS	Ananya Joshi Assis. Prof. Dr. Vikram Choudhary

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assis. Prof. Dr. Raghda Mahfouz	1	THE IMPACT OF DIGITAL LEARNING TOOLS ON STUDENT ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION	Prof. Dr. Samir Belkacem Amina Rahmani Karim Boudiaf
		2	THE EFFECTIVENESS OF INCLUSIVE EDUCATION STRATEGIES IN PRIMARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Leila Khelifi Nadia Benali
		3	TEACHER PERCEPTIONS AND CHALLENGES IN IMPLEMENTING PROJECT-BASED LEARNING	Dr. Mohamed Amr Fatma Hassan Sara Adel
		4	THE ROLE OF PARENTAL INVOLVEMENT IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION SUCCESS	Ahmed Khaled Prof. Dr. Mona El-Sayed
		5	ASSESSING THE INFLUENCE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY ON STUDENT ACHIEVEMENT	Assis. Prof. Dr. Raghda Mahfouz Omar Saad
		6	INNOVATIVE APPROACHES TO LANGUAGE LEARNING IN RURAL AREAS	Yasmine Farouk Tamer Hussein Hala Abdelrahman
		7	EVALUATING THE IMPACT OF TEACHER TRAINING PROGRAMS ON CLASSROOM PERFORMANCE	Prof. Dr. Rajesh Kumar Anita Singh
			THE USE OF INTERACTIVE LEARNING PLATFORMS TO IMPROVE STEM EDUCATION OUTCOMES	Vikram Joshi Sunita Patel

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Anna Kowalska	1	ADVANCING TRANSLATION PRACTICES IN THE ERA OF DIGITAL INTEGRATION	Maria Ivanova Olga Petrenko
		2	INNOVATIVE SUSTAINABILITY APPROACHES IN MODERN CORPORATE MANAGEMENT: A CASE STUDY OF ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG) PRINCIPLES AT NNPC, ABUJA, NIGERIA	Dr. Amina Bello
		3	THE INFLUENCE OF SOCIAL SECURITY, PENSIONS, AND INSURANCE ON ECONOMIC DEVELOPMENT: INSIGHTS FROM NIGERIA	Ibrahim Musa
		4	POLITICAL PARTIES AND THEIR ROLE IN KNOWLEDGE DECOLONIZATION	Assoc. Prof. Dr. Anna Kowalska
		5	COMMUNITY ENGAGEMENT IN ELDERLY SOCIAL SERVICE PROVISION: A STUDY FROM ROMANIA	Andrei Popescu Elena Ionescu
		6	EXPLORING LOCAL GOVERNMENT ADMINISTRATION CHALLENGES IN NIGERIA: A THEORETICAL ANALYSIS	Dr. Fatima Abdullahi Dr. Samuel Okoro
		7	SPATIAL BETA CONVERGENCE AMONG NEW EU MEMBER STATES BASED ON SOCIO-ECONOMIC INDICATORS	László Kovács

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Ayesha Khan	1	CHALLENGES AND SATISFACTION LEVELS IN USING DIGITAL PAYMENT PLATFORMS	Neha Kulkarni Rohit Deshmukh
		2	EMOTIONAL INTELLIGENCE AND ITS IMPACT ON LEADERSHIP PERFORMANCE: A STUDY AMONG MBA STUDENTS IN SANGLI DISTRICT	Sneha Patil Rajat More
		3	SOCIO-ECONOMIC INFLUENCES ON DIETARY PATTERNS: A COMPARISON BETWEEN SOUTH ASIA AND G7 COUNTRIES	Ayesha Khan Imran Siddiqui
		4	INNOVATIVE GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT THROUGH TECHNOLOGY IN MALAYSIA'S MANUFACTURING SECTOR	Nurul Huda Ahmad Faizal
		5	THE EFFECTIVENESS OF TAX UTILIZATION IN PROMOTING NATIONAL DEVELOPMENT	Dewi Lestari Fajar Nugroho
		6	DIGITAL TAX ADMINISTRATION IN INDONESIA: ANALYSIS OF EFAKTUR AND E-BUPOT IMPLEMENTATION	Rina Sari Budi Santoso
		7	RELATIONSHIP BETWEEN FINANCIAL DEVELOPMENT AND FIRM FINANCING IN THE MENA REGION	Hassan El-Masri Layla Haddad
		8	SOCIAL DEVELOPMENT DRIVEN BY ENERGY TRANSITION IN MOROCCO	Youssef Benali Sara El-Fassi



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ART Academy 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 10-12, 2025
SKOPIE



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr., BİLGEHAN ŞAHİN	1	OSMANLI DEVLETİ'NDE XIX. YÜZYILIN SON ÇEYREGİNDE BALKANLARDA İHTİDA HAREKETLERİ	Dr., BİLGEHAN ŞAHİN
		2	1877-1878 OSMANLI-RUS HARBİ SONRASI ROMANYADAN TÜRKİYEYE YAPILAN GÖÇ VE İSKÂN HAREKETLERİNİ TETİKLEYEN GELİŞMELER	Dr. Recep ÇELİK
		3	TANRI MALAKBEL VE PALMYRA HEYKEL SANATINDAKİ SEMBOLİK ANLAMLARI	Dr. Abduljalil ALHAJ ESMAIL ARABI
		4	RUMELİ'DE İKTİDAR İNŞÂSI: AYAN VE DAĞLI EŞKİYASI ORTAKLIĞI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Cem DÜZEN
		5	A DIPLOMATIC EXCHANGE OF GIFTS IN OTTOMAN-GREEK RELATIONS DURING THE REGION OF II. ABDULHAMID: CEVAD PASHA'S DRAFT	Dr. RAHİME YAVUZ GERENTEPE
		6	FIRST OBSERVATIONS BEFORE SURVEY WORKS IN THE ARNEAI TERRITORIUM, THE HIDDEN CITY OF LYCIA	Araş. Gör. Dr. YAŞAR ARLI
		7	THE '68 GENERATION AND ATATURK'S LEGACY: IN PURSUIT OF A REVOLUTIONARY VISION	Öğretim Görevlisi, Feryat BULUT
		8	FROM THE LOYAL NATION TO THE SEPARATIST MOVEMENT: A HISTORICAL TRANSFORMATION	Öğretim Görevlisi, Feryat BULUT
		9	PHİLİPPOLİS MOZAIKLERİNDE ZİYNET EŞYALARININ ESTETİK SEMBOLİZMİ	Araş. Gör. Salam BOULAD

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Öğr. Üyesi Bilge Nur DOĞAN GÜLDENOĞLU	1	TEACHERS' VIEWS ON THE FUTURE OF TÜRKİYE-EGYPT RELATIONS	Coğrafya Öğretmeni Huriye BAŞDEMİR Prof. Dr. Asım ÇOBAN
		2	ANALYSIS OF TEACHERS' OPINIONS ABOUT THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN	Coğrafya Öğretmeni Huriye BAŞDEMİR Prof. Dr. Asım ÇOBAN
		3	THE EFFECT OF PLACE-BASED EDUCATION APPROACH ON ENVIRONMENTAL LITERACY OF 5TH GRADE STUDENTS	Uzman Öğretmen, Cahide SERDAROĞLU Prof. Dr. Munise Handan GÜNEŞ
		4	DÜNYA DİLİ TÜRKÇE SEMPOZYUMLARINDA SUNULAN BİLDİRİLERDE "TÜRKÇENİN YABANCI DİL OLARAK ÖĞRETİMİ"	Yüksek Lisans Öğrencisi NEFİSE YILMAZ Doç. Dr. ÖMER KEMİKSİZ
		5	ÖZEL EĞİTİM ÖĞRETMENLERİNİN ZİHİN YETERSİZLİĞİ OLAN ÖĞRENCİLERE SAĞLIK DAVRANIŞLARI VE ÖĞRETİMİNE YÖNELİK GÖRÜŞLERİNİN BELİRLENMESİ	Öğrt. Gül AKGÜL Doç. Dr. Müzeyyen Eldeniz Çetin
		6	ZİHİN YETERSİZLİĞİNDEN ETKİLENEN ÇOCUĞU OLAN EBEVEYNLERİN SAĞLIK DAVRANIŞLARI VE SAĞLIK DAVRANIŞLARININ ÖĞRETİMİNE İLİŞKİN GÖRÜŞLERİNİN BELİRLENMESİ	Öğrt. Gül AKGÜL Doç. Dr. Müzeyyen Eldeniz Çetin
		7	PIKTES PROJESİ KAPSAMINDA HAZIRLANAN YABANCILARA TÜRKÇE ÖĞRETİMİ PROGRAMI'NIN YAPI VE İÇERİK ÖZELLİKLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Bilge Nur DOĞAN GÜLDENOĞLU
		8	COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL ACTIVITY POLICIES AND PHYSICAL EDUCATION PRACTICES IN SCHOOLS IN EUROPE AND TURKEY	Doç. Dr. Emine ÖZTÜRK KARATAŞ Dr. İsmail ÖNER Prof. Dr. Özgür KARATAŞ
		9	FACTORS INCREASING PARTICIPATION IN PHYSICAL EDUCATION CLASSES IN SCHOOLS: A COMPARATIVE SYSTEMATIC REVIEW IN THE CONTEXT OF EUROPE AND TURKEY	Doç. Dr. Emine ÖZTÜRK KARATAŞ Dr. İsmail ÖNER Prof. Dr. Özgür KARATAŞ

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Öğr. Gör. Meliha Yaren BERKTAŞ	1	A BIBLIOGRAPHY RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN CULTURAL HERITAGE AND TOURISM	İsa ZOR Öğr. Gör. Meliha Yaren BERKTAŞ Prof. Dr. Hulusi DOĞAN
		2	A STRATEGIC PERSPECTIVE ON SUSTAINABILITY AND NATURE-FOCUSED EXPERIENCES IN SCANDINAVIAN TOURISM	Öğr. Gör. Meliha Yaren BERKTAŞ Prof. Dr. Hulusi DOĞAN
		3	Geographically Indicated Products and Bolu: A Conceptual Review	Doç. Dr. Niyazi GÜMÜŞ
		4	EXAMINATION OF ASSOCIATE DEGREE STUDENTS' EMPLOYMENT STATUS 2021-2023	Doç. Dr. Niyazi GÜMÜŞ
		5	KÜLTÜR TURLARINDA GASTRO-TÜKETİM: TURİSTLERİN GIDA TERCİHLERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ	DOKTOR ÖĞRETİM ÜYESİ, NURHAYAT İFLAZOĞLU
		6	Balkanlarda Kültürel Mirasın Turizm Politikalarına Etkisi: Yerel Halk Algısı ve Sürdürülebilirlik	YL. Öğrencisi Nasrın MOUSANASAB
		7	DÜĞÜN FOTOĞRAFÇILIĞINDA TURİSTİK MEKANLARIN KULLANIMI VE DESTİNASYON İMAJINA ETKİSİ	Dr. Elanur MUTLU
		8	Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin İş Bulma Kaygı Düzeylerinin ve Kaygılarını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması	Ashlan Eyrek Doç. Dr. Niyazi Gümüş
		9	MYO Öğrencilerinin Ön Lisans Programlarını Tercih Etme Nedenlerinin İncelenmesi	Atakan Uysal Doç. Dr. Niyazi Gümüş

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Erdem ÜNVER	1	EXAMPLES OF LOCAL CULTURAL HERITAGE FROM ORDU/AKKUŞ: SERENDERS	Dr. Öğr. Üyesi SERPİL SEYFİ
		2	EVRENSELLİK ALGISI ÜZERİNE	Prof. Dr. Erdem ÜNVER
		3	“MINAMATA” IN WILLIAM EUGENE SMITH PHOTOS	Öğr. Gör. OLGUN KÜÇÜK
		4	LOOKING FOR SALGADO’S AESTHETIC APPROACH IN THE DOCUMENTARY “SALT OF THE EARTH”	Öğr. Gör. OLGUN KÜÇÜK
		5	MUSIC IN THE ANCIENT GREEK WORLD	Assis. Prof. Dr. Rahim KIZGUT
		6	INNOVATIVE APPROACHES IN JEWELRY DESIGN	Öğretim Görevlisi Pelin DEMİRTAŞ DİKMEN Öğretim Görevlisi Canan ERDÖNMEZ
		7	AVANTGARDE CLOTHING IN FASHION DESIGN	Öğretim Görevlisi Canan ERDÖNMEZ Öğretim Görevlisi Müjgan Emre
		8	PAINTING IN ANCIENT CIVILIZATIONS IN THE CONTEXT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CONTINUITY AND STYLE IN ART	Doç. Dr. Abdulsemet Aydın
		9	METALDE AJUR TEKNİĞİNİN TAKI VE FARKLI ALANLARDAKİ KULLANIMI	Öğretim Görevlisi Müjgan Emre Öğretim Görevlisi Pelin Demirtaş Dikmen
		10	SULTAN V. MURAD’IN BESTELERİNE DAİR EPİZOTLAR	Dr. Öğr. Üyesi, SERHAT SOYŞEKERCİ

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Öğr. Üyesi, ERTUĞRUL ERYÜCEL	1	THE ROLE OF PARTICIPATIONAL MECHANISMS IN STRENGTHENING LOCAL PARTICIPATION: THE CASE OF AYVACIK VOCATIONAL SCHOOL	EMRAH ÇOPUROĞLU
		2	PARENTAL LEAVE POLICIES FOR WORKING FAMILIES: A COMPARISON BETWEEN EUROPEAN UNION COUNTRIES AND TÜRKİYE	Esra ÇAĞLIYAN
		3	TRANSLATING THE “TURKISH STORY”: STRATEGIC NARRATIVES, MORAL AUTHORITY, AND POST-TRUTH POLITICS IN THE AKP ERA	Dr. Alper Çakmak
		4	THE DACIAN CULTURE DISCOURSE AS A SYMBOL OF REBIRTH IN THE NATION-BUILDING PROCESS IN ROMANIA	Dr. Öğr. Üyesi, ERTUĞRUL ERYÜCEL
		5	SİYASAL KÜLTÜR-SİYASAL REJİM ETKİLEŞİMİ VE BU ETKİLEŞİMİN MARKSİST TERMİNOLOJİDEKİ YANSIMALARI	Araştırma Görevlisi HİDİR DOĞAN
		6	BASIN İÇERİĞİ OLARAK FOTOĞRAFIN FİKRİ MÜLKİYET HUKUKU AÇISINDAN KORUNMASI	Doktora Öğrencisi Av. Abdullah SINMAZ
		7	LİMİTED ŞİRKETLERDE PAY DEVRİ	Onur Cemal ÇALIŞKAN

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç.Dr. Hüseyin TEZER	1	ÇİN'İN BÜYÜK ÜLKE DİPLOMASİSİ: XI JINPING'İN KONUŞMALARININ İÇERİK ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, TUBA İLKİM DEMİR Doç. Dr., TAHSİN YAMAK
		2	THE EUROPEAN UNION'S GREEN TRANSITION OPTION AGAINST ENERGY DEPENDENCE	PhD. Candidate Dilek YAMAN Prof. Dr. Ali AYATA
		3	AB GÖÇ POLİTİKALARINDA GÜVENLİKÇİ YAKLAŞIMLAR VE ALTERNATİF PARADİGMALAR	Prof. Dr. Ali AYATA PhD. Candidate Dilek YAMAN
		4	DÖVİZ KURU DALGALANMALARININ TÜRKİYE'YE GELEN YABANCI TURİST SAYISINA ETKİSİ: 2021-2025	Doktora Öğrencisi, AYLİN ARITKAN
		5	TÜRKİYE'DE TARIMSAL ÜRETİMİN EKONOMİK BÜYÜME VE ENFLASYON İLE İLİŞKİSİ: TÜRKİYE ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA (1980-2023)	Doç.Dr. Hüseyin TEZER
		6	THE DEVELOPMENT OF HOMEOWNERSHIP AND HOUSING LOANS IN TURKEY: AN INTERNATIONAL COMPARATIVE ANALYSIS FOR THE PERIOD 2002-2024	Güngör PABUŞÇU Prof. Dr. Cem DİŞBUDAK

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Somphone Khammanivong Assis. Prof. Dr. Noy Ketsana	1	THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON SME PERFORMANCE AND INNOVATION STRATEGIES	Khamla Phommasone Assoc. Prof. Dr. Bounmy Vongxay Somchit Thammavong
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PRACTICES IN EMERGING MARKETS	Dr. Anong Souvannaphone Visanai Khamla
		3	STRATEGIC LEADERSHIP AND ORGANIZATIONAL AGILITY IN THE LAO BUSINESS ENVIRONMENT	Prof. Dr. Somphone Khammanivong Assis. Prof. Dr. Noy Ketsana Sithong Chanthavong
		4	THE ROLE OF FINANCIAL TECHNOLOGY IN ENHANCING ENTREPRENEURIAL GROWTH	Mohamed Abdelrahman Assoc. Prof. Dr. Salma Mostafa Dr. Hossam El-Sayed
		5	MARKETING INNOVATION AND CUSTOMER ENGAGEMENT IN THE EGYPTIAN RETAIL SECTOR	Rania El-Masry Tamer Fathy
		6	CORPORATE GOVERNANCE AND ITS EFFECT ON BUSINESS SUSTAINABILITY IN EGYPT	Prof. Dr. Amr Soliman Heba Fawzy Assis. Prof. Dr. Youssef Hafez
		7	DIGITAL MARKETING STRATEGIES AND CONSUMER BEHAVIOR IN INDONESIA	Dr. Indah Kurniawati Rizki Pratama
		8	THE INFLUENCE OF ENTREPRENEURIAL ECOSYSTEMS ON STARTUP SUCCESS IN INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Dedi Susanto Fitriani Dewi Budi Santoso

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Aijan Ismailova	1	THE IMPACT OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT ON LAO ECONOMIC GROWTH	Prof. Dr. Khamla Phommasak Somphone Vongsa Anousone Phouthasone
		2	E-COMMERCE AND CONSUMER BEHAVIOR IN EMERGING MARKETS: A CASE STUDY OF LAOS	Assoc. Prof. Dr. Bounthavy Sisavath Sengdao Phengsavanh
		3	MONETARY POLICY EFFECTIVENESS IN LAO PDR: AN EMPIRICAL ANALYSIS	Dr. Ketsana Vannaphone Phouthasone Souvanlasy
		4	SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECONOMIC DIVERSIFICATION IN LAOS	Viengkham Pholsena
		5	THE ROLE OF MICROFINANCE IN PROMOTING ENTREPRENEURSHIP IN KYRGYZSTAN	Prof. Dr. Aibek Tursunov Elmira Sadykova
		6	TRADE LIBERALIZATION AND ITS EFFECTS ON KYRGYZSTAN'S AGRICULTURAL SECTOR	Assis. Prof. Dr. Nurgul Amanbekova Kanat Toktomamatov
		7	DIGITAL ECONOMY TRANSFORMATION IN KYRGYZSTAN: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Dr. Aijan Ismailova
		8	INVESTMENT TRENDS AND ECONOMIC GROWTH IN INDONESIA	Prof. Dr. Putra Santoso Rina Wijayanti Aditya Pranata
		9	ENERGY SECTOR REFORMS AND ECONOMIC STABILITY IN INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Dewi Lestari Fajar Nugroho

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Almaz Sadykova	1	THE IMPACT OF FRENCH COLONIAL RULE ON LAOSIAN RURAL COMMUNITIES	Somsak Phommasane Assoc. Prof. Dr. Khamla Bounthavy Phayvanh Xayavong
		2	EVOLUTION OF RELIGIOUS ARCHITECTURE IN LAOS FROM 15TH TO 19TH CENTURY	Dr. Bounmy Vongsavath Ketsana Phouthavong
		3	SOCIO-POLITICAL CHANGES IN LAOS DURING THE COLD WAR ERA	Prof. Dr. Chanthavy Sisavath Somphone Keomany Phouthasone Phimmasone Dr. Khamla Thammavong
		4	THE ROLE OF TRADE ROUTES IN LAOSIAN ECONOMIC HISTORY	Sithong Phouthavong Assoc. Prof. Dr. Bounthong Xayavong
		5	CULTURAL TRANSFORMATIONS IN LAOS THROUGH EUROPEAN INFLUENCE	Dr. Khampheng Sengsavang
		6	NOMADIC TRADITIONS AND STATE FORMATION IN KYRGYZSTAN	Ermekbek Aitmatov Assoc. Prof. Dr. Meerim Toktogulova
		7	THE SILK ROAD AND KYRGYZSTANI ECONOMIC NETWORKS IN THE 18TH CENTURY	Prof. Dr. Almaz Sadykova Aibek Bazarov

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assis. Prof. Dr. Aijjan Mamatkulova	1	KYRGYZSTAN AND THE IMPACT OF RUSSIAN EXPANSION IN CENTRAL ASIA	Assis. Prof. Dr. Talant Omurzakov Zhyldyz Karybekova
		2	TRANSFORMATION OF KYRGYZ FOLKLORE UNDER SOVIET RULE	Dr. Nurlan Bekbolotov
		3	SOCIAL AND POLITICAL DYNAMICS IN EARLY 20TH CENTURY KYRGYZSTAN	Assis. Prof. Dr. Aijjan Mamatkulova Bakytbek Ergeshov
		4	COLONIAL LEGACY AND CULTURAL HERITAGE IN INDONESIA	Prof. Dr. Agus Santoso Rina Kartika
		5	THE INFLUENCE OF ISLAMIC KINGDOMS ON INDONESIAN SOCIETY	Dr. Muhammad Hidayat Siti Nurhayati Assoc. Prof. Dr. Dewi Lestari
		6	TRADE AND DIPLOMACY IN THE EARLY INDONESIAN ARCHIPELAGO	Fajar Prasetyo Assoc. Prof. Dr. Ratna Sari
		7	MARITIME STRATEGIES AND POLITICAL POWER IN 17TH CENTURY INDONESIA	Dr. Andika Putra

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Elmira Akmatova Dr. Nurbolot Jumabaev	1	ELITE STRATEGIC MANAGEMENT PRACTICES AND THEIR IMPACT ON SME GROWTH	Sengphet Phommasone Assoc. Prof. Dr. Khamla Vongphachanh
		2	DIGITAL TRANSFORMATION AND CUSTOMER ENGAGEMENT IN EMERGING MARKETS	Phoutthasone Khamla Dr. Somchit Inthavong
		3	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MODELS IN THE LAO MANUFACTURING SECTOR	Bounmy Sisavath Prof. Dr. Anousone Phanthavong Khampheng Thammavong
		4	ENTREPRENEURIAL ORIENTATION AND BUSINESS PERFORMANCE: A STUDY ON KYRGYZ STARTUPS	Assis. Prof. Dr. Aibek Tursunov Erkinbek Sadykov Talent Bekbolotov
		5	IMPACT OF LEADERSHIP STYLES ON EMPLOYEE MOTIVATION IN KYRGYZ CORPORATIONS	Prof. Dr. Elmira Akmatova Dr. Nurbolot Jumabaev
		6	CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY AND BRAND VALUE IN KYRGYZ COMPANIES	Aijan Bekturova Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Ergeshov
		7	INNOVATION STRATEGIES AND COMPETITIVE ADVANTAGE IN INDONESIAN SMEs	Dr. Raden Wicaksono Indah Prameswari Assoc. Prof. Dr. Bayu Santoso Siti Nurhayati

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assis. Prof. Dr. Julie Chen	1	A COMPARATIVE STUDY OF REFERENCE MANAGEMENT TOOLS: ZOTERO VERSUS ENDNOTE	Dr. Emilija Petrova Mateo Garcia
		2	SOCIAL MEDIA IN PSYCHOTHERAPY: ETHICAL CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN DIGITAL COUNSELING	Dr. Helena Jansen Prof.Dr. Peter O'Reilly Ms. Tanya Morgan
		3	MATERNAL SMOKING AND CHILDHOOD OBESITY RISK: SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS	Dr. Amina Diallo
		4	PARENTAL INTERVENTIONS FOR CHILDHOOD OBESITY: EFFECTS ON CHILDREN'S HEALTH BEHAVIORS	Associate Prof. Lena Andersson Carlos Figueroa
		5	PRIMARY SCHOOL STUDENTS' VIEWS ON ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY AND BEHAVIOR CHANGE	Farah Al-Mansouri Dr. Sana Yusuf Kofi Mensah
		6	SENSORY AND COGNITIVE DEFICITS IN AUTISM: STUDY OF SAUDI CHILDREN	Dr. Amal Al-Harbi
		7	SOCIAL NORMS AND YOUNG WOMEN'S CONFORMITY IN SAUDI SOCIETY: AN EXPLORATORY STUDY	Dr. Faisal Qureshi Huda Nasser Omar Al-Faisal
		8	EMOTION REGULATION IN CHILDREN: THE IMPACT OF PARENTING STYLE VERSUS FAMILY STRUCTURE	Assis. Prof. Dr. Julie Chen
		9	UNDERSTANDING CAUSAL PERCEPTIONS OF CLASSROOM MISBEHAVIOR AMONG TEACHERS AND STUDENTS	Prof. Dr. Kenji Takahashi Haruto Watanabe
		10		

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assis. Prof. DR. Sophie McAllister	1	STRATEGIC FRAMEWORKS FOR ENHANCING LANGUAGE PRACTICES IN COMPUTER ENGINEERING: AN OUTCOME-BASED APPROACH	Dr. Mariana López-Ramírez
		2	EXPLORING THE IMPACT OF VISUAL AND AUDITORY INPUT ON THE INVOLVEMENT LOAD HYPOTHESIS	Somayah Farzin, Assis. Prof. Dr. Hossein Teimoori Nezhad
		3	THE EFFECT OF GRADING PRESSURE ON STUDENT MOTIVATION AND ACADEMIC SUCCESS	Fatima Zahra El Idrissi, Dr. Noura Benali
		4	A PROPOSED CURRICULUM FOR POSTGRADUATE STUDENTS IN JORDAN TO DEVELOP VISUAL TEACHING SKILLS THROUGH CONCEPTUAL CARTOONS	Omar Al-Mansour, Hassan Khalil
		5	THE ROLE OF THE ALHAMBRA LEARNING MODEL IN IMPROVING STUDENTS' COGNITIVE ACHIEVEMENT AND EMOTIONAL INTELLIGENCE	Assoc. Prof.. Dr. Youssef Al-Khatib
		6	YOUNG EDUCATORS IN AUSTRALIA: INNOVATING WITHIN TRADITIONAL TEACHING CONSTRAINTS	Assis. Prof. DR. Sophie McAllister
		7	USING QR CODES AS A MODERN TOOL TO ENHANCE ACCESS TO EARLY CHILDHOOD EDUCATIONAL RESOURCES	Ali Hussein, Mahmoud Nasser
		8	INTEGRATING ENGLISH LANGUAGE TEACHING WITH ENGINEERING EDUCATION: A COGNITIVE AND PEDAGOGICAL PERSPECTIVE	R. Sammoura

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Lorenzo Esposito	1	HUBS AS MEDIATORS OF CULTURAL EXCHANGE IN MIGRATION NETWORKS	Giovanni Rinaldi, Dr. Lorenzo Esposito
		2	THE EUROPEAN UNION AND CENTRAL ASIA: POWER, DIPLOMACY, IDENTITY	Aruzhan Mukhamedova, Bakytbek Ospanov, Dana Yeskaliyeva, Ruslan Turganbayev
		3	ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA GAME PARTICIPATION PATTERNS BASED ON AGE AND INTEREST	Hyunwoo Kim, Jihoon Park
		4	E-VOTING AND PUBLIC TRUST: TECHNOLOGICAL, POLITICAL AND SOCIAL DIMENSIONS	Assis. Prof. Dr. Nurul Aisyah Mansor, Prof. DR. Farhana Mohamad Nasir
		5	MODELING FOOT BIOMETRICS USING SELF-ORGANIZING MAPS	Meriem Ben Saïd
		6	THE ROLE OF FINANCIAL MARKETS IN SHAPING MIXED-USE URBAN DEVELOPMENTS – CASES FROM THE UK AND EUROPE	Dr. Fiona Clarke
		7	POLITICAL COMMUNICATION, CITIZEN PERCEPTIONS AND PARTICIPATION IN BANGKOK METROPOLITAN REGION	Nattapong Wichai
		8	URBAN EVOLUTION OF MEDITERRANEAN CITIES IN THE CONTEXT OF CONTEMPORARY GLOBALIZATION	Assis. Prof. DR. Omar Al- Mutairi

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Ekim / Oct 10, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Mariana Costa	1	EFFECTIVENESS OF DIGITAL TEACHING STRATEGIES FOR ENHANCED STUDENT PERFORMANCE IN TURKISH HIGH SCHOOLS: A QUANTITATIVE ANALYSIS	Lucas Silva
		2	THE ROLE OF SOCIAL MEDIA IN SHAPING PUBLIC OPINION ON ECONOMIC POLICIES IN BRAZIL: A CONTENT ANALYSIS OF LEADING NEWSPAPERS	Dr. Mariana Costa
		3	IMPACT OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT ON REGIONAL DEVELOPMENT IN VIETNAM: AN EMPIRICAL STUDY	PHD Nguyen Thi Hoa
		4	JAPANESE INVESTMENT TRENDS IN SOUTHEAST ASIA: ECONOMIC AND STRATEGIC IMPLICATIONS	Takashi Nakamura
		5	CLIMATE CHANGE AND WATER-ENERGY-FOOD SECURITY NEXUS IN SOUTH AFRICA: A SYSTEMATIC REVIEW OF POLICY RESPONSES	Dr. Thabo Mokoena
		6	ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF BIOFERTILIZER PRODUCTION USING WASTEWATER IN VIETNAM	Tran Van Minh
		7	FINANCIAL BURDEN AND SYMPTOM PREVALENCE OF POLYCYSTIC OVARY SYNDROME IN RURAL BANGLADESH: A CASE STUDY	Fatima Rahman Dr. Ayesha Siddiqui
		8		



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ART Academy 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 10-12, 2025
SKOPIE



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPIE YÜZYÜZE 11 Ekim / Oct 11, 2025 / 10:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Hande ŞAHİN	1	HEYBELİADA RUHBAN OKULUNA TARİHİ BİR BAKIŞ	Doç. Dr. Evrim ŞENCAN
		2	AIN PRAYERS IN MACEDONIA AND ANATOLIA IN THE CONTEXT OF MYTHICAL VALUES	Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Duvarcı
		3	REFLECTIONS OF THE ASSASSINATIONS IN LAUSANNE IN THE MEDIA	Dr. Emine Kısıklı
		4	A Personalized and Psychologically-Oriented Approach in Language Learning: The Esmer Method	Esmer Tonka Toprak Şahan Abdülkadir Geylani Şahan
		5	OSMANLI DEVLETİ'NİN BALKANLARDAN ÇEKİLİŞİ	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sedat Erkan
		6	IN THE WITNESS OF GEOGRAPHY: THE QUR'AN AND THE SCIENCE OF QIRA'AT FROM AL-ANDALUS TO THE BALKANS	Yüksek Lisans Öğrencisi Hatice Kabasakal
		7	EXPLICIT VOCABULARY INSTRUCTION IN AN ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE (EFL) CONTEXT	Asst. Prof. Dr. Mustafa SARIOĞLU
		8	LANGUAGE, TRANSLATION, AND POWER RELATIONS	Assistant Prof. MURAT BAYRAK
15 DK. ARA				

Prof. Dr. Hande ŞAHİN	9	THE EFFECT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON SUSTAINABLE PERFORMANCE	Assoc. Prof. Dr. Serhat ERAT Assoc. Prof. Dr. Hulya TURKCAN Prof. Dr. Salih Zeki IMAMOGLU Prof. Dr. Huseyin INCE
	10	AN ANALYSIS OF INDIANA JONES MOVIES AS A MODERN TALE THROUGH JUNG'S ARCHETYPES	Assoc. Prof. Emre Ahmet Seçmen
	11	ÇOCUK GELİŞİMİ BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIK DÜZEYLERİ İLE BEDEN MEMNUNİYETLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. AYGEN ÇAKMAK Dr. Öğr. Üyesi NURAY ÖZTÜRK Dr. Öğr. Üyesi Ezgi AKINCI DEMİRBAŞ
	12	SOSYAL HİZMET BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN YAŞLILIK ALANINA YÖNELİK YETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Hande ŞAHİN Prof. Dr. Sibel ERKAL
	13	EMEĞİ GÖRÜNÜR KILMAK: İŞLETMEYE GİRİŞ DERSİ İÇİN EMEK TEMELLİ ALTERNATİF BİR ÇERÇEVE	Öğretim Görevlisi, YELDA ALTUNAL GÜRGEN
	14	PLATFORM KAPİTALİZMİ: E-TİCARETİN MARKSİST EKOLOJİ VE KÜÇÜLME PERSPEKTİFLERİ ÜZERİNDEN ELEŞTİRİSİ	Öğretim Görevlisi, DERYA İNCE

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPIE				
YÜZYÜZE				
11 Ekim / Oct 11, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Nurhan KESKİN	1	FARKLI BİLYE MALZEMELERİNİN AISI 304 ÜZERİNDEKİ SÜRTÜNME VE AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi, MAHMUT ÇELİK Doç. Dr. EMİNE ŞİRİN
		2	DEPREM SONRASI KALICI KONUTLARIN YER SEÇİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: DİYARBAKIR ÖRNEĞİ	Doç.Dr. AHMET KOÇ Doç.Dr. CANAN KOÇ
		3	A MICROBIAL SOLUTION TO THE CLIMATE CRISIS: COMPARATIVE GENOME ANALYSES IN METHYLOBACTERIUM INDICUM MODEL FOR THE UTILIZATION OF NEXT-GENERATION C1 SUBSTRATES	Prof. Dr. İhsan YAŞA Dr. Asiye Esra EREN EROĞLU
		4	RECENT ADVANCES IN PHAGE-DERIVED ENZYMES: APPLICATIONS AND EMERGING INNOVATIONS	Dr. Asiye Esra EREN EROĞLU Prof. Dr. İhsan YAŞA
		5	RECENT APPLIED TECHNIQUES FOR MANIPULATING REACTIVE OXYGEN SPECIES (ROS) IN STIGMA SIGNALING TO CONTROL REPRODUCTIVE BARRIERS IN PLANTS	Dr. Volkan EROĞLU
		6	SAMSUN İLİ SÜS BİTKİLERİ YETİŞTİRİLEN ALANLARDAKİ KÖK-UR NEMATODU TÜRLERİ (Meloidogyne spp.)'NİN BELİRLENMESİ	Ziraat Yüksek Mühendisi EMRE YILMAZ Prof. Dr. SEVİLHAN MENNAN
		7	The Impact of Plant Species Selection on Bioclimatic Comfort in Open Green Spaces in Warm Climate Zones	Dr. Öğr. Gör. Sülem ŞENYİĞİT DOĞAN Doç. Dr. Ahmet KOÇ
		8	SOME FUNCTIONAL PROPERTIES OF 'ERCİŞ GRAPE' (Vitis vinifera L.) POMACE	Prof. Dr. Nurhan KESKİN Zir. Müh. Melehat DURMAZ UYGUN

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES SKOPIE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Süleyman BALCI	1	ROLE OF EMOTIONAL INTELLIGENCE, PSYCHOLOGICAL WELL-BEING AND LIFE SATISFACTION LEVELS OF ADULT INDIVIDUALS	Counselor Elif BEŞPINAR Assoc. Prof. Dr. Süleyman BALCI
		2	ROMANTIC BELIEFS, EMOTIONAL JEALOUSY, AND RELATIONSHIP SATISFACTION IN MARRIED INDIVIDUALS	Counselor Ayşegül DEMİRHAN Assoc. Prof. Dr. Süleyman BALCI
		3	KADINA YÖNELİK ŞİDDET OLAYLARININ KIZ ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN ROMANTİK İLİŞKİLERE YÖNELİK ALGILARINA ETKİSİ	Psikolog Ayşe UGAN Psikolog Hatice CEYLAN Dr. Öğr. Üyesi Esra ÇEBİ
		4	ROMANTİK İLİŞKİLERDE ETKİLİ İLETİŞİM VE SORUN ÇÖZME ÜZERİNE EYLEM ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe YILMAZ Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR
		5	BELLEK KAVRAMININ MECAZLAR YOLUYLA İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Zehragül GÜNER Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR
		6	EVLİLİK VE BOŞANMA KAVRAMLARININ MECAZLAR YOLUYLA İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Zehragül GÜNER Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR
		7	AN ANALYSIS OF THE ROLE OF ACADEMIC AND PERSONAL LIFE IN THE EDUCATIONAL PROCESSES OF INDIVIDUALS RECEIVING UNDERGRADUATE AND GRADUATE LEVEL EDUCATION	Onur ALTUN Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR
		8	THE ROLE OF SELF-ESTEEM, SELF-COMPASSION, AND GENDER IN PSYCHOLOGICAL SUSTAINABILITY	Prof. Dr., FERZAN CURUN DEFNE GÖKALP

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Arş. Gör. Dr. Munise Hayrun Sağlam	1	SOSYAL PAZARLAMA ARACI OLARAK SPONSORLUKLARIN KURUM İMAJINA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Araştırma Görevlisi, OSMAN TOSUN
		2	DİJİTAL YETERLİLİK, BİLGİ PAYLAŞIMI VE YARATICILIK ARASINDAKİ İLİŞKİ	Doç. Dr. Serhat ERAT Araş. Gör. Eda Dilara AYBER Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU Prof. Dr. Hüseyin İNCE
		3	ATTITUDES TOWARDS GREEN MARKETING MIX IMPLEMENTATION CULTURE	Dr. Candan ÖZGÜN AYAR Prof. Dr. Murat Selim SELVİ
		4	ATTITUDES TOWARDS GREEN MARKETING ISSUES	Dr. Candan ÖZGÜN AYAR Prof. Dr. Murat Selim SELVİ
		5	THE IMPACT OF MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS ON PERFORMANCE MEASUREMENT PROCESSES IN BUSINESSES	Fırat EROĞLU
		6	GESTALT İÇERİKLİ REKLAM MESAJLARININ TÜKETİCİ-MARKA ETKİLEŞİMİNE ETKİSİ	Arş. Gör. Dr. Munise Hayrun Sağlam
		7	THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL CHANGES ON STOCK MARKET PERFORMANCE: A CROSS-COUNTRY STUDY OF ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE, INFLATION RATES, GROSS DOMESTIC PRODUCT, AND INTEREST RATES.	Mehdi Seraj NEWTURN NGWENYA

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Selahattin BARDAK	1	ON INTEGRAL EXTENSION OF OPERATORS WHICH PRESERVE CERTAIN FUNCTIONS	Doç. Dr. Didem AYDIN ARI
		2	APPROXIMATION RESULTS OF GENERALIZED BERNSTEIN CHLODOWSKY OPERATORS	Doç. Dr. DİDEM AYDIN ARI Doç. Dr. BAŞAR YILMAZ
		3	THEORETICAL AND NUMERICAL RESULTS FOR A MULTI SPECIES CHEMOTAXIS MODEL	Dr. Öğr. Üyesi HALİL İBRAHİM KURT
		4	A Hyperparameter Optimization With Reinforcement Optimizer Algorithm (PRO) on Fashion-MNIST Classification	Assoc. Prof. Dr. Emine BAŞ
		5	Osprey Optimization Algorithm (OOA) For Wireless Sensor Network (WSN) Coverage Optimization	Assoc. Prof. Dr. Emine BAŞ
		6	PREDICTION OF THE RISK STATUS IN PREGNANCY USING ARTIFICIAL AFTERIMAGE ALGORITHM	Dr. Öğr. Üyesi, Murat DEMİR
		7	DETECTING THE MOST COMMON PROBLEMS IN ONLINE MARKET SHOPPING USING WEB MINING METHOD	Prof. Dr. Selahattin BARDAK Prof. Dr. Kinyas POLAT
		8	EVALUATION OF COMMENTS ABOUT SHOE PRODUCT RETURNS IN ONLINE SHOPPING USING WEB MINING AND SENTIMENT ANALYSIS	Prof. Dr. Kinyas POLAT Prof. Dr. Selahattin BARDAK

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Kinyas POLAT	1	MACHINE LEARNING-BASED CLASSIFICATION OF CRYSTAL TYPES	Prof.Dr.Kinyas POLAT Prof.Dr.Selahattin BARDAK
		2	CLASSIFICATION OF CHRONIC KIDNEY DISEASE DATASET BY MACHINE LEARNING	Prof.Dr.Selahattin BARDAK Prof.Dr.Kinyas POLAT
		3	INCREASING ENERGY EFFICIENCY WITH ARM-BASED PROCESSORS USING ESP32 AND PZEM	OGÜN GÖNEN MOHAMMAD RUHUL AMIN BHUIYAN HAYATİ MAMUR
		4	INTELLIGENT REFRIGERATOR CONTROL BASED ON COOLING CYCLE OPTIMIZATION	OGÜN GÖNEN YİĞİT ALOĞLU MOHAMMAD RUHUL AMIN BHUIYAN HAYATİ MAMUR
		5	PIDFFD 2 F CONTROLLER DESIGN USING SPIDER WASP OPTIMIZATION FOR FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION SYSTEMS	Asist. Prof. Dr. Hasan BAŞAK
		6	GaN GÜÇ ELEKTRONİĞİ YARILETKENİN YÜK TAŞIYICI YOĞUNLUĞUNUN SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞMESİNİN FERMI-DIRAC YAKLAŞIMINA GÖRE İNCELENMESİ	Doç. Dr. Zafer DOĞAN Tural MEHMETOĞLU
		7	İDEAL FERMI SERBEST ELEKTRON SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK PARAMETERELİNİN KUANTUM İSTATİSTİKSEL FİZİK ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ	Doç. Dr. Zafer DOĞAN Tural MEHMETOĞLU

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK	1	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE: CURRENT TRENDS AND FUTURE PERSPECTIVES	Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK
		2	STRATEGIES FOR INTEGRATION AND SUSTAINABILITY IN TRANSFORMING HEALTHCARE SYSTEMS	Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK
		3	KURBAN BAYRAMI SÜRESİNCE ACİL SERVİSE YAPILAN BAŞVURULARIN KLİNİK ÖZELLİKLERİ VE DAĞILIMI	Dr. Öğr. Üyesi Ramazan KİYAK Dr. Öğr. Üyesi Meliha FINDIK Doç. Dr. Bahadır ÇAĞLAR Doç. Dr. Süha SERİN
		4	KURKUMİN VE NÖRODEJENERATİF HASTALIKLAR	Dr. Dyt., Meliha ÇAVDAR
		5	MAGNEZYUM VE UYKU BOZUKLUKLARI	Dr. Dyt., Meliha ÇAVDAR
		6	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN NURSES' INTERCULTURAL SENSITIVITY LEVELS AND THEIR ATTITUDES TOWARDS CHILDREN'S RIGHTS	Doç. Dr., BEYZA ERKOÇ Hemşire DERYA YİĞİT
		7	PALLIATIVE CARE and SOCIAL WORK	Doç. Dr., BEYZA ERKOÇ
		8	EVALUATION OF FOSFOMYCIN SUSCEPTIBILITY OF ESCHERICHIA COLI STRAINS ISOLATED FROM URINE CULTURES IN A UNIVERSITY HOSPITAL: A TWO-YEAR FOLLOW-UP	Asst. Prof., İpek KOÇER

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assis. Prof. Dr. Maryam Rafsanjani	1	PERFORMANCE ENHANCEMENT OF MEMBRANE DISTILLATION PROCESS IN FRUIT JUICE CONCENTRATION BY MEMBRANE SURFACE MODIFICATION	Samir K. Deshmukh, Dr. Mayur M. Tajane
		2	PRODUCTION OF APRICOT VINEGAR USING AN ISOLATED ACETOBACTER STRAIN FROM IRANIAN APRICOT	Keivan Beheshti Maal, Rasoul Shafei, Noushin Kabiri
		3	EFFECT OF FERMENTATION TIME ON XANTHAN GUM PRODUCTION FROM SUGAR BEET MOLASSES	Marzieh Moosavi- Nasab, Safoora Pashangch, Assis. Prof. Dr. Maryam Rafsanjani
		4	UTILIZATION JUICE WASTES AS CORN REPLACEMENT IN THE BROILER DIET	Yose Rizal, Maria Endo Mahata, Mira Andriani, Guoyao Wu
		5	SURVEY OF IMPACT OF PRODUCTION AND ADOPTION OF NANOCROPS ON FOOD SECURITY	Sahar Dehyouri, Seyed Jamal Farajollah Hosseini
		6	SOUS VIDE PACKAGING TECHNOLOGY APPLICATION FOR SALAD WITH MEAT IN MAYONNAISE SHELF LIFE EXTENSION	Vita Levkane, Sandra Muiznicce-Brasava, Lija Dukalska
		7	INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE BACTERIAL CELLULOSE PRODUCED BY GLUCONACETOBACTER XYLINUS FROM DATE SYRUP	Marzieh Moosavi-Nasab, Ali R. Yousefi

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Yasuyuki Konishi,	1	COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL	Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd
		2	PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES	Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan
		3	OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY	V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran
		4	CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION	Assoc. Prof. Abdelatif S. H. El-Jasser
		5	INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN	A. Molee, N. Duanghaklang, P. Mernkrathoke
		6	REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE	Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher
		7	PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY	Pattama Ratana-Arpom, Pongtep Wilaipun

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira,	1	USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS	Phd .Reza Sigari Tabrizi, Dr. Yeap Peik Foong, Nazli Ebrahimi
		2	EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET	Ioan Popa, Radu Lupu, Cristiana Tudor
		3	ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT	Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, Filipa Vieira
		4	APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES	Dr. Omid Jadidi, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Firouzi, Enzo Bagliery
		5	CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY	Ajay Gupta, Arvind Bhardwaj, Arun Kanda
		6	FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION	Dahir A. Ga'al, Wardah Zainal Abidin
		7	OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT	Assis. Prof. Dr. Srisawas Siriporn, Assis. Prof. Dr. Rotchanakitumnuai Siriluck
		8	STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK	Dr. Svetlana Saksonova

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assoc. Prof. Dr. Michael Lissack	1	WHEN ELUCIDATIONS "INDUCE" MISTAKES: AN EXAMINATION OF DEPICTIONS AND COMPRESSIONS	Assoc. Prof. Dr. Michael Lissack
		2	IMPLEMENTATION OF MICROSOFT TECHNOLOGIES IN COURSEWORK – AN INSTANCE STUDY	Lilac Al Safadi, Rana Abu Nafesa, Regina Garcia
		3	CYBERSPACE: A NOVEL MEDIUM TO ADVANCE TRADITIONAL DANCES IN INDONESIA PERSIAN BAZAARS: THE DEMONSTRATION OF STABLE IDEAS	Dr. Maria Satya Rani, Fandy Tjiptono, Suyoto
		4	ELEMENTS INFLUENCING ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES AMONG HOTELS IN MALAYSIA	Dr. Aida Amirazodi
		5	RESILIENT HUMAN RIGHTS GOVERNANCE: FORMULATING INTERNATIONAL STANDARDS	Zaiton Samdin, Kasimu Abdu Bakori, Hamimah Hassan
		6	DETERMINANTS FOR TRIUMPH IN EXPATRIATION OF MALAYSIAN INTERNATIONAL CORPORATIONS	Helen P. Greatrex

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Miloš Šeda	1	OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER	Dr. Saead Negahdari, Davood Jalali Vahid
		2	DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER	Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo
		3	A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS	Fotis N. Koumboulis, Maria P. Tzamtzi
		4	GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING	Johan Segeborn, Johan S. Carlson, Robert Bohlin, Rikard Söderberg
		5	FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES	Dr. Miloš Šeda
		6	CLASSIC AND HEURISTIC APPROACHES IN ROBOT MOTION PLANNING A CHRONOLOGICAL REVIEW	Ellips Masehian, Davoud Sedighzadeh
		7	STABILIZER FILLET WELD STRENGTH UNDER MULTIAXIAL LOADING (EFFECT OF FORCE, SIZE AND RESIDUAL STRESS)	Iman Hadipour, Javad Marzbanrad
		8	INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES	Dr. Roozbeh Keshmiri, Alireza Mohamad Shahri

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Halit BOZ	1	MOLLA FENÂRÎ'S THEOLOGICAL APPROACHES AT THE CROSSROADS OF REASON AND WISDOM -THEIR IMPACT ON THE BALKAN MUSLIM INTELLECTUAL WORLD-	Dr. Öğr. Üy., Aslı Menekşe
		2	İSLAM AİLE HUKUKUNDA ÇOCUĞUN BAKIM VE EĞİTİMİ AÇISINDAN EBEVEYNİN ROLÜ	Doç. Dr. TAHA YILMAZ
		3	İSLAM HUKUKU BAĞLAMINDA ET-TEVBE SURESİ YETMİŞ ÜÇÜNCÜ AYET-İ KERİMESİNDE GEÇEN "EY PEYGAMBER! KÂFİRLERLE VE MÜNAFİKLİKLA CİHAT ET" SÖYLEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr. TAHA YILMAZ
		4	İ'RABIN TEFSİRE ETKİSİ: NAHİV FARKLILIKLARININ ANLAM YORUMUNA KATKISI	Prof. Dr. Halit BOZ Dr. Öğr. Üyesi Abdulhalim ABDULLAH
		5	KUR'AN'DA LAFZÎ VE MÂNÂÎ TEKRARLARIN BELÂGAT AÇISINDAN YORUMU	Prof. Dr. Halit BOZ Dr. Öğr. Üyesi Abdulhalim ABDULLAH
		6	COPING EXPERIENCES OF HIGH SCHOOL RELIGIOUS CULTURE AND ETHICS COURSE TEACHERS WITH STUDENTS' INQUIRING QUESTIONS: THE BAYBURT CASE	Melek USLU Assoc. Prof. Dr. Behram HASANOV

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPIE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doç. Dr. Yasemin BAKİ	1	AN INTERDISCIPLINARY AND NARRATIVE-BASED PRACTICE IN INITIAL TEACHER EDUCATION: “PAST” ETWINNING PROJECT	Dr. HAMİDE KILIÇ SİBEL YALI
		2	A Study on the Application of Classroom Observation Technique in Qualitative Research	Dr. HAMİDE KILIÇ Doç. Dr. İBRAHİM TURAN Doç. Dr. YAKUP AYAYDIN
		3	RESEARCH TRENDS ON THE BIBLIOTHERAPY METHOD	Doç. Dr. Yasemin BAKİ
		4	RESEARCH TRENDS ON CREATIVE READING	Doç. Dr. Yasemin BAKİ
		5	TÜRKİYE VE AVUSTRALYA EĞİTİM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Eda DENİZ Prof. Dr. Mustafa YILMAZLAR
		6	SCHOOL ADMINISTRATORS' PERCEPTIONS ON THE DISASTER MANAGEMENT PROCESS	Uzman Öğretmen, HATİCE DENLER TAŞDELEN Doç. Dr., MUSTAFA POLAT
		7	INSTITUTIONAL DISCOURSE IN EDUCATION: AN EXAMINATION OF THE VISION AND MISSION OF SCHOOLS IN TURKEY	Yüksek Lisans Öğrencisi, ERCAN AKSOY Doç. Dr., MUSTAFA POLAT
		8	YARATICI SANAT ETKİNLİKLERİNE YÖNELİK DÖRDÜNCÜ SINIF ÖĞRENCİLERİNİN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	Samiye KÜÇÜK Doç. Dr. İdris AKTAŞ Prof. Dr. Önder İDİL
		9	İLKOKUL DÖRDÜNCÜ SINIF ÖĞRENCİLERİNİN UZAMSAL AKIL YÜRÜTME BECERİLERİNİN İNCELENMESİ	Samiye KÜÇÜK Doç. Dr. İdris AKTAŞ Prof. Dr. Önder İDİL
		10	ÖZEL GEREKSİNİMLİ ÖĞRENCİLERİN UYGULAMA OKULU İKİNCİ KADEME VE ÜÇÜNCÜ KADEMEYE GEÇİŞ SÜRECİNDE YAŞADIKLARI GÜÇLÜKLER HAKKINDA ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr. Ş. Şenay İLİK Çiğdem BİLGİN Hatice HORASANLI
		11	ORTA OKULDAN LİSE KADEMESİNE GEÇİŞTE KAYNAŞTIRMA ÖĞRENCİLERİNİN ÖĞRETMENLERİNİN YAŞADIKLARI ZORLUKLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	Doç. Dr. Ş. Şenay İLİK Berfin OĞUZ KOCA

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Nazife Erarslan	1	USING SUSTAINABLE CEMENT FOR DEEP SOIL MIXING (DSM) SOIL IMPROVEMENT: A CRITICAL REVIEW AND FUTURE DIRECTIONS	Postgrad student İsmet Göğüş Prof. Dr. Nazife Erarslan
		2	ENHANCING SOIL PROPERTIES WITH COLLOIDAL SILICA AND SUSTAINABLE CEMENT FOR IMPROVED SOIL STABILIZATION	Prof. Dr. Nazife Erarslan
		3	A NUMERICAL INVESTIGATION OF THERMOMECHANICAL BEHAVIOR AND COHESIVE DAMAGE MECHANISMS IN GEOMATERIALS	Prof. Dr. Nazife Erarslan
		4	AI-DRIVEN SOIL LIQUEFACTION ASSESSMENT WITH A NATURAL LANGUAGE INTERFACE	MUHAMMED FATİH AYSAN PROF. DR. NAZİFE ERARSLAN DOĞAN
		5	OPTIMIZATION OF SOIL PARAMETERS TO MAXIMIZE THE BEARING CAPACITY OF CLAY SOILS USING THE TAGUCHI METHOD	Dr.Ayşe Bengü Sünbül Güner Prof.Dr.Ercan Özgan
		6	OPTIMIZATION OF SOIL PARAMETERS THAT MINIMIZE THE SETTLEMENT CAPACITY OF CLAY SOILS USING THE TAGUCHI METHOD	Dr.Ayşe Bengü Sünbül Güner Prof.Dr.Ercan Özgan

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 10-12, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Öğr. Üyesi MEHTAP YALÇINKAYA No:1	1	DYNAMIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON, BASALT AND GLASS FİBER LAMINATED COMPOSITES: A COMPARATIVE ANALYSIS	Asst. Prof. Muhammet Raci AYDIN
		2	EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Tİ6AL4V ALAŞIMINDA ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	Hayriye ERTEK EMRE
		3	OPTIMIZATION OF DISHWASHER WASHING PERFORMANCE WITH A NEXT-GENERATION FILTRATION APPROACH	E&P Test Uzmanı, Onur TURHAN Patent ve Teşvik Uzmanı, Sinem PALA
		4	A SCIENTIFIC AND ANALYTICAL STUDY ON CZTS SOLAR CELLS PREPARED BY THE PLD TECHNIQUE	Yousef Adwan Associate Prof.Dr. Serap YİĞİT GEZGİN Prof.Dr. Hamdi Şükür KILIÇ
		5	COMPARATIVE STUDY OF EFFECTIVE ATOMIC NUMBER (Z_{eff}) AND FAST NEUTRON ATTENUATION PROPERTIES OF WO_3 CONTAINING MINERALS	Dr. Öğr. Üyesi MEHTAP YALÇINKAYA
		6	MEKANİK KİLİTLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK ÇELİK VE BAKIR MALZEME ÇİFTİNİN KÜRESEL KANALLI BAĞLANTI TASARIMINDA BOĞAZ MESAFESİNİN MUKAVEMET ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Dr.Öğr.Üyesi, ARSLAN KAPTAN

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN	1	EVALUATION OF OTOLITH MASS ASYMMETRY IN PONTIC SHAD (<i>Alosa immaculata</i>) SPECIMENS COLLECTED FROM DIFFERENT REGIONS OF THE BLACK SEA	SUDENAZ GÜDÜL ASSOCIATE PROFESSOR SEMRA SAYGIN
		2	CASPIAN SEA-DERIVED MICROBACTERIUM AND MICROCOCCUS ISOLATES: ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL POTENTIAL	ESRA KIZILDEMİR ASSISTANT PROFESSOR HAYRETTİN SAYGIN
		3	EXPLORING THE POTENTIAL FOR ALGAE AND THEIR ANTIMICROBIAL EFFECTS	Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN
		4	AQUACULTURE AND PROBIOTICS: A PATHWAY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN
		5	IN SILICO MODELING BIOLOGICAL EVALUATION OF SERIES SULFONATE DERIVATIVES AS POTENTIAL ANTI-ACETYLCHOLINESTERASE AND ANTI-BUTYRYLCHOLINESTERASE AGENTS	Fuat Yetişsin, Adem Korkmaz

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Giulia Romano	1	BIOCONTROL POTENTIAL OF ESSENTIAL OIL FORMULATIONS AGAINST TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) AND ASSOCIATED STORAGE PESTS	Dr. Kwame O. Mensah
		2	IMMUNOGENIC RESPONSE OF OUTER MEMBRANE PROTEINS OF <i>VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS</i> ON GROUPER (<i>EPINEPHELUS FUSCOGUTTATUS</i>)	Liang Wei Chen
		3	CHARACTERIZATION AND ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE ENZYMES FROM ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED IN TROPICAL FORESTS	Maria Fernanda López, Diego Rafael Oliveira,
		4	SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM LEAF AND NODE EXPLANTS OF BLUE DAISY (<i>FELICIA AMELLOIDES</i>)	Anoma Perera Wijesinghe
		5	STRUCTURAL INSIGHTS INTO THE RESISTANCE OF <i>CAMPYLOBACTER JEJUNI</i> CHAPERONE PROTEINS TO ANTIMICROBIAL PEPTIDES	Dr. Sadia Rahman,
		6	MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN AEROBIC WASTEWATER BIOREACTORS	Supaporn Kittipong, Nattapol Jirasaku
		7	SYNTHETIC ELASTIN-BASED COATINGS AS A BIOMIMETIC PLATFORM FOR ENHANCED CELL ADHESION	Assoc. Prof. Dr. Giulia Romano
		8	NEW RECORD OF PARASITE-HOST INTERACTIONS OF <i>DIPLOSTOMUM SPATHACEUM</i> IN ZARAFSHAN RIVER (CENTRAL UZBEKISTAN)	Dr. Niloufar Esmailova

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors	
HALL / SALON 2	Moses Umiaghe,	1	ADVANCES IN QUANTUM ALGORITHMS: SECURITY CHALLENGES AND ETHICAL IMPLICATIONS IN THE QUANTUM COMPUTING ERA	John Smith, Fatima Al-Harbi, Omar Khalid
		2	ECO-FRIENDLY ADSORPTION TECHNIQUES FOR WATER POLLUTANT REMOVAL USING NANOCOMPOSITES: SYNTHESIS AND PERFORMANCE OPTIMIZATION	Amira Benali, Dr. Youssef El Fassi
		3	ENHANCING GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES	Nadia Bouziane, Karim El Mansouri
		4	SPATIAL MODELING OF SOIL EROSION IMPACTS ON WATER REGULATION IN THE HIGH ATLAS REGION	Laila Bensalem, Rachid El Amrani
		5	DEEP LEARNING-BASED TRAFFIC SIGN RECOGNITION UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS	Ahmed Benali, Yassine El Khatib, Sara Alami
		6	DC BUS VOLTAGE CONTROL AND POWER FACTOR IMPROVEMENT USING BIDIRECTIONAL CONVERTERS	Chinedu Okafor, Amina Yusuf, Emeka Nwosu
		7	OPTIMIZING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	Moses Umiaghe, Chika Obi
		8	BRIDGING THE SKILLS GAP IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS EDUCATION FOR INDUSTRY READINESS IN RIVERS STATE	Ngozi Eze, Emeka Okeke

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors	
HALL / SALON 3	Olufemi Adewale	1	OPTIMIZATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATIONS	Ahmed El-Sayed, Fatima Hassan, Omar Khalil
		2	REMOTE SENSING-BASED SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN CASABLANCA (MOROCCO): ENVIRONMENTAL IMPACTS	Nadia Benali, Youssef El-Mahdi
		3	EVALUATION OF GAMMA-RAY AND NEUTRON DISCRIMINATION TECHNIQUES IN SCINTILLATION DETECTORS	John O. Adeyemi, Chinedu Nwosu, Amina Yusuf
		4	MATHEMATICAL MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN HUMAN CIRCULATORY SYSTEM	Chinedu Nwosu, Amina Yusuf
		5	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO WOOD NANOFIBERS AND THEIR PHOTODEGRADATION EFFECTS ON DYES	Sara El-Mansouri, Rachid Bennis
		6	EXPERIMENTAL AND PROBABILISTIC STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D-PRINTED CONDUCTIVE POLYMERS	Olufemi Adewale, Kemi Olatunji
		7	ANALYSIS OF LAST-MILE TRANSPORTATION ISSUES FACED BY AIRPORT PASSENGERS IN NIGERIA	Kehinde Azeezat Shodipo, Abdul-Rahman Taiwo Ajala
		8		

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Laila Hassan	1	QUANTUM ENTANGLEMENT AND THE EXPANDING COSMOS: A THEORETICAL EXPLORATION	Amit Sharma
		2	MICROWAVE-ASSISTED SYNTHESIS AND ANALYSIS OF CARBON NANOTUBES FROM AGRICULTURAL WASTE	Dr. Laila Hassan
		3	DEVELOPMENT OF MAGNETIC SILICA-CHITOSAN NANOCOMPOSITES FOR EFFICIENT WASTEWATER REMEDIATION	Fatima Yusuf, Ahmed Khan, Sara Malik
		4	ENHANCED ITERATIVE METHODS FOR SOLVING ELLIPTIC PDES: A NOVEL PARAMETRIC APPROACH	Chinedu Okafor, Amina Bello
		5	FIRST-PRINCIPLES COMPUTATIONAL STUDY OF SR-BASED HYDRIDE PEROVSKITES FOR HYDROGEN STORAGE	Yousef Al-Mansouri, Layla Rahimi
		6	THE INTERPLAY OF SPORTS AND POPULAR CULTURE: HISTORICAL PERSPECTIVES AND CONTEMPORARY INSIGHTS	Dr. Reza Farhadi, Assis.Prof. Dr. Neda Karimi
		7	PRE-SERVICE TEACHERS' PERCEPTIONS AND MOTIVATIONS TOWARD AI INTEGRATION IN PHYSICS EDUCATION	Halima Ibrahim, Musa Abdullahi
		8	VIRTUAL LABORATORIES IN SCIENCE EDUCATION: IMPACT ON TEACHERS' USABILITY PERCEPTIONS AND STUDENT SKILL DEVELOPMENT	Amina Bello, Ibrahim Musa

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Nino Beridze	1	PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY	Maria Petrova
		2	YOLOv8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES	Assoc. Prof. Dr. Sophie JORIO
		3	THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES	Andrei Popescu
		4	SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES	Dr. Nino Beridze
		5	EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO2 ADDITIVES	Ravi Kumar
		6	ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS	Chinedu Okafor
		7	DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES	Dr. Fatima Abiola
		8		

BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
October 10-12, 2025				
SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
12 Ekim / Oct 12, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors	
HALL / SALON 6	K.POOJA	1	STUDY ON THE MOLECULAR INTERACTIONS OF PYRAZOLINE DERIVATIVES WITH SARS-COV-2 MAIN PROTEASE (Mpro)	Zineb OUAHDI Hassan EL ALAOUI EL ABDALLAOUI Amine ZEROUAL
		2	EFFECTS OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE (OSA) MODIFIED STARCH ON THE RHEOLOGICAL AND PARTICLE SIZE PROPERTIES OF XANTHAN GUM SOLUTIONS	Imene BOULHAIA Abdelkader HADJSADOK Nadji MOULAI-MOSTEFA Ali AOUABED
		3	NUTRACEUTICALS: BRIDGING THE GAP BETWEEN NUTRITION AND MEDICINE	Ana-Lucia BLENDEA Alin CIOBICA Ioan GOTCA Andreea GHERASIM
		4	NANOMATERIAL-ENHANCED TRANSDERMAL DELIVERY SYSTEMS FOR TREATING DERMATOLOGICAL CONDITIONS	Babita GUPTA
		5	A COMPREHENSIVE REVIEW OF HERBAL MEDICINAL DRUGS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS	K.POOJA
		6	CYTOLOGICAL AND MOLECULAR ANALYSIS OF SPUTUM SAMPLES FROM TUBERCULOSIS SUSPECTS IN WUA SETTLEMENT, NASARAWA STATE	Utume A. WILSON Daramola E. FUNKE James O. ADISA Solomon M. GAMDE
		7	KNOWLEDGE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH INTRAEPITHELIAL LESIONS AMONG CHILD-BEARING WOMEN IN JOS, NIGERIA	Selji YAKCIT James O. ADISA Solomon M. GAMDE
		8		

Contents

ASSESSMENT OF THE INHIBITORY EFFECT OF <i>BEAUVERIA BASSIANA</i> CULTURE FILTRATES ON SPORE GERMINATION OF THE PLANT PATHOGEN <i>BOTRYTIS CINEREA</i>	1
ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SELECTED ESSENTIAL OILS AGAINST <i>RHIZOCTONIA SOLANI</i> IN POTATO TUBER	13
CORIANDRUM (<i>CORIANDRUM SATIVUM</i> L.) CULTIVATION AND ITS ECONOMIC IMPORTANCE	22
RELATIONSHIPS OF MORPHOLOGICAL CHARACTERS WITH FRUIT YIELD AND ESSENTIAL OIL CONTENT IN CORIANDER (<i>CORIANDRUM SATIVUM</i> L.).....	28
BAHÇE BİTKİLERİNDE SEL BASKINI STRESİNİN ETKİLERİ.....	39
AMİNOASİTLERİN BAHÇE BİTKİLERİNDE KULLANIMI.....	44
THERAPEUTIC ROLE AND ORGAN-LEVEL EFFECTS OF MORIN: LIVER, KIDNEY, OVARY, AND BRAIN	50
THE EFFECT OF LATE FROST DAMAGE ON FLOWERING, FRUIT SET, AND FLORAL TISSUE DAMAGE IN DIFFERENT APPLE CULTIVARS.....	60
ECO-FRIENDLY STRATEGIES IN AQUACULTURE: THE IMPACT OF PLANT EXTRACTS ON FISH SPERM QUALITY AND CRYOPRESERVATION.....	69
NON-CONVENTIONAL APPROACHES FOR ASSESSING SPERM QUALITY IN FISH: ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES, BIOSENSORS, AND OTHER TECHNOLOGICAL APPLICATIONS	81
TRABZON GANİTA SAHİLİ'NDE KULLANICI ODAKLI YERİNDE GÖZLEM ÇALIŞMALARI	92
ZEYTİN YAPRAĞI İLE BOYA KİRLİLİĞİNE DOĞAL ÇÖZÜM: MALAHİT YEŞİLİ UZAKLAŞTIRIMI SONRASI FİTOTOKSİSİTE ANALİZİ.....	106
ZEYTİN YAPRAĞI BAZLI BİYOSORBAN KULLANILARAK MALAHİT YEŞİLİ GİDERİMİNİN ADSORPSİYON PARAMETRELERİ VE İZOTERM ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ	119
FARKLI BİLYE MALZEMELERİNİN AISI 304 ÜZERİNDEKİ SÜRTÜNME VE AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ. 134	
DEPREM SONRASI KALICI KONUTLARIN YER SEÇİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: DİYARBAKIR ÖRNEĞİ.. 146	
RECENT ADVANCES IN PHAGE-DERIVED ENZYMES: APPLICATIONS AND EMERGING INNOVATIONS ... 155	
SICAK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ AÇIK YEŞİL ALANLARDA BİTKİ TÜR SEÇİMİNİN BİYO-İKLİMSEL KONFORA ETKİSİ	173
ERCİŞ ÜZÜMÜ (<i>Vitis vinifera</i> L.) POSASININ BAZI FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ	184
OSPREY OPTIMIZATION ALGORITHM (OOA) FOR WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) COVERAGE OPTIMIZATION	192
A HYPERPARAMETER OPTIMIZATION WITH REINFORCEMENT OPTIMIZER ALGORITHM (PRO) ON FASHION-MNIST CLASSIFICATION	207
PREDICTION OF THE RISK STATUS IN PREGNANCY USING ARTIFICIAL AFTERIMAGE ALGORITHM	223
ONLINE ALIŞVERİŞTE AYAKKABI ÜRÜNÜ İADESİ İLE İLGİLİ YORUMLARIN WEB MADENCİLİĞİ VE DUYGU ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	232
ONLINE MARKET ALIŞVERİŞİNDE EN ÇOK KARŞILAŞILAN SORUNLARIN WEB MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ	241
MACHINE LEARNING-BASED CLASSIFICATION OF CRYSTAL TYPES.....	248

CLASSIFICATION OF CHRONIC KIDNEY DISEASE DATASET BY MACHINE LEARNING	255
INCREASING ENERGY EFFICIENCY WITH ARM-BASED PROCESSORS USING ESP32 AND PZEM	263
INTELLIGENT REFRIGERATOR CONTROL BASED ON COOLING CYCLE OPTIMIZATION	268
PIDFFD ² F CONTROLLER DESIGN USING SPIDER WASP OPTIMIZATION FOR FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION SYSTEMS	273
İDEAL FERMI SERBEST ELEKTRON SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK PARAMETERELİNİN KUANTUM İSTATİSTİKSEL FİZİK ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ	285
GaN GÜÇ ELEKTRONİĞİ YARIİLETKENİN YÜK TAŞIYICI YOĞUNLUĞUNUN SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞMESİNİN FERMI-DIRAC YAKLAŞIMINA GÖRE İNCELENMESİ	291
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE: CURRENT TRENDS AND FUTURE PERSPECTIVES	297
STRATEGIES FOR INTEGRATION AND SUSTAINABILITY IN TRANSFORMING HEALTHCARE SYSTEMS.....	304
KURKUMİN VE NÖRODEJENERATİF HASTALIKLAR	314
MAGNEZYUM VE UYKU BOZUKLUKLARI.....	323
DEVELOPMENT OF MAGNETIC SILICA-CHITOSAN NANOCOMPOSITES FOR EFFICIENT WASTEWATER REMEDIATION	332
ENHANCED ITERATIVE METHODS FOR SOLVING ELLIPTIC PDES: A NOVEL PARAMETRIC APPROACH ..	333
FIRST-PRINCIPLES COMPUTATIONAL STUDY OF SR-BASED HYDRIDE PEROVSKITES FOR HYDROGEN STORAGE	334
THE INTERPLAY OF SPORTS AND POPULAR CULTURE: HISTORICAL PERSPECTIVES AND CONTEMPORARY INSIGHTS.....	335
PRE-SERVICE TEACHERS' PERCEPTIONS AND MOTIVATIONS TOWARD AI INTEGRATION IN PHYSICS EDUCATION.....	336
VIRTUAL LABORATORIES IN SCIENCE EDUCATION: IMPACT ON TEACHERS' USABILITY PERCEPTIONS AND STUDENT SKILL DEVELOPMENT	337
PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY	338
YOLOV8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES.....	339
THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES	340
SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES.....	341
EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO ₂ ADDITIVES.....	342
ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS	343
DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES	344
STUDY ON THE MOLECULAR INTERACTIONS OF PYRAZOLINE DERIVATIVES WITH SARS-COV-2 MAIN PROTEASE (M _{pro})	345
EFFECTS OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE (OSA) MODIFIED STARCH ON THE RHEOLOGICAL AND PARTICLE SIZE PROPERTIES OF XANTHAN GUM SOLUTIONS.....	346

NUTRACEUTICALS: BRIDGING THE GAP BETWEEN NUTRITION AND MEDICINE	347
NANOMATERIAL-ENHANCED TRANSDERMAL DELIVERY SYSTEMS FOR TREATING DERMATOLOGICAL CONDITIONS	348
A COMPREHENSIVE REVIEW OF HERBAL MEDICINAL DRUGS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS	349
CYTOLOGICAL AND MOLECULAR ANALYSIS OF SPUTUM SAMPLES FROM TUBERCULOSIS SUSPECTS IN WUA SETTLEMENT, NASARAWA STATE.....	350
KNOWLEDGE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH INTRAEPITHELIAL LESIONS AMONG CHILD-BEARING WOMEN IN JOS, NIGERIA	351
USING SUSTAINABLE CEMENT FOR DEEP SOIL MIXING (DSM) SOIL REINFORCEMENT: A CRITICAL REVIEW AND FUTURE DIRECTIONS.....	352
ENHANCING SOIL PROPERTIES WITH COLLOIDAL SILICA AND SUSTAINABLE CEMENT FOR SOIL STABILIZATION.....	363
A NUMERICAL INVESTIGATION OF THERMOMECHANICAL BEHAVIOR AND COHESIVE DAMAGE MECHANISMS IN GEOMATERIALS.....	370
OPTIMIZATION OF SOIL PARAMETERS TO MAXIMIZE THE BEARING CAPACITY OF CLAY SOILS USING THE TAGUCHI METHOD.....	385
OPTIMIZATION OF SOIL PARAMETERS THAT MINIMIZE THE SETTLEMENT CAPACITY OF CLAY SOILS USING THE TAGUCHI METHOD	400
İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Tİ6AL4V ALAŞIMINDA ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ ...	415
YENİ NESİL FİLTRELEME YAKLAŞIMI İLE BULAŞIK MAKİNESİ YIKAMA PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU	429
COMPARATIVE STUDY OF EFFECTIVE ATOMIC NUMBER (Z_{eff}) AND FAST NEUTRON ATTENUATION PROPERTIES OF WO_3 -CONTAINING MINERALS	445
EVALUATION OF OTOLITH MASS ASYMMETRY IN PONTIC SHAD (<i>Alosa immaculata</i>) SPECIMENS COLLECTED FROM DIFFERENT REGIONS OF THE BLACK SEA	451
CASPIAN SEA-DERIVED <i>MICROBACTERIUM</i> AND <i>MICROCOCCUS</i> ISOLATES: ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL POTENTIAL	463
HAZAR DENİZİ KÖKENLİ <i>MICROBACTERIUM</i> VE <i>MICROCOCCUS</i> İZOLATLARI: ANTİOKSİDAN VE ANTİMİKROBİYAL POTANSİYEL	464
AQUACULTURE AND PROBIOTICS: A PATHWAY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT	476
EXPLORING THE POTENTIAL FOR ALGAE AND THEIR ANTIMICROBIAL EFFECTS	482
<i>IN SILICO</i> MODELING BIOLOGICAL EVALUATION OF SERIES SULFONATE DERIVATIVES AS POTENTIAL ANTI-ACETYLCHOLINESTERASE AND ANTI-BUTYRYLCHOLINESTERASE AGENTS	490
MEKANİK KİLİTLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK ÇELİK VE BAKIR MALZEME ÇİFTİNİN KÜRESEL KANALLI BAĞLANTI TASARIMINDA BOĞAZ MESAFESİNİN MUKAVEMET ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	503
DYNAMIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON, BASALT AND GLASS FIBER REINFORCED LAMINATED COMPOSITES: A COMPARATIVE ANALYSIS.....	504
BİR ÜNİVERSİTE HASTANESİNDE İDRAR KÜLTÜRLERİNDEN İZOLE EDİLEN <i>ESCHERİCHİA</i> SUŞLARININ FOSFOMİSİN DUYARLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ: İKİ YILLIK İZLEM.....	505

KURBAN BAYRAMI SÜRESİNCE ACİL SERVİSE YAPILAN BAŞVURULARIN KLİNİK ÖZELLİKLERİ VE DAĞILIMI	508
THEORETICAL AND NUMERICAL RESULTS FOR A MULTI SPECIES CHEMOTAXIS MODEL	510
APPROXIMATION RESULTS OF GENERALIZED BERNSTEIN CHLODOWSKY OPERATORS.....	511
ON INTEGRAL EXTENSION OF OPERATORS WHICH PRESERVE CERTAIN FUNCTIONS	512
SAMSUN İLİ SÜS BİTKİLERİ YETİŞTİRİLEN ALANLARDAKİ KÖK-UR NEMATODU TÜRLERİ (<i>Meloidogyne spp.</i>)'NİN BELİRLENMESİ	513
DISPERSE RED 343 BOYAR MADDESİNİN OZONLAMA İLE TEKSTİL ATIKSUYUNDAN GİDERİMİ: PARAMETRE ETKİLERİNİN DENEYSSEL İNCELENMESİ	515
THE POLITICS OF DAYLIGHT: CLIMATE JUSTICE, HOUSING AND URBAN INEQUALITIES IN ISTANBUL ...	517
PERFORMANCE ENHANCEMENT OF MEMBRANE DISTILLATION PROCESS IN FRUIT JUICE CONCENTRATION BY MEMBRANE SURFACE MODIFICATION	518
PRODUCTION OF APRICOT VINEGAR USING AN ISOLATED ACETOBACTER STRAIN FROM IRANIAN APRICOT	519
EFFECT OF FERMENTATION TIME ON XANTHAN GUM PRODUCTION FROM SUGAR BEET MOLASSES	520
UTILIZATION JUICE WASTES AS CORN REPLACEMENT IN THE BROILER DIET	521
SURVEY OF IMPACT OF PRODUCTION AND ADOPTION OF NANOCROPS ON FOOD SECURITY	522
SOUS VIDE PACKAGING TECHNOLOGY APPLICATION FOR SALAD WITH MEAT IN MAYONNAISE SHELF LIFE EXTENSION	523
INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE BACTERIAL CELLULOSE PRODUCED BY GLUCONACETOBACTER XYLINUS FROM DATE SYRUP	524
COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL.....	525
PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES.....	526
OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.)VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY	527
CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION	528
INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN	529
REVEA LING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NACL: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE	530
PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY.....	531
USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS	532
EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET	533



ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT.....	534
APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES.....	535
CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY	536
FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION	537
WHEN ELUCIDATIONS "INDUCE" MISTAKES: AN EXAMINATION OF DEPICTIONS AND COMPRESSIONS	538
IMPLEMENTATION OF MICROSOFT TECHNOLOGIES IN COURSEWORK – AN INSTANCE STUDY.....	539
CYBERSPACE: A NOVEL MEDIUM TO ADVANCE TRADITIONAL DANCES IN INDONESIA PERSIAN BAZAARS: THE DEMONSTRATION OF STABLE IDEAS	540
ELEMENTS INFLUENCING ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES AMONG HOTELS IN MALAYSIA ...	541
RESILIENT HUMAN RIGHTS GOVERNANCE: FORMULATING INTERNATIONAL STANDARDS.....	542
DETERMINANTS FOR TRIUMPH IN EXPATRIATION OF MALAYSIAN INTERNATIONAL CORPORATIONS .	543
OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER	544
DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER.....	545
A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS.....	546
GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING	547
IMMUNOGENIC RESPONSE OF OUTER MEMBRANE PROTEINS OF VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS ON GROUPER (EPINEPHELUS FUSCOGUTTATUS)	550
CHARACTERIZATION AND ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE ENZYMES FROM ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED IN TROPICAL FORESTS	551
SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM LEAF AND NODE EXPLANTS OF BLUE DAISY (FELICIA AMELLOIDES)	552
STRUCTURAL INSIGHTS INTO THE RESISTANCE OF CAMPYLOBACTER JEJUNI CHAPERONE PROTEINS TO ANTIMICROBIAL PEPTIDES	553
MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN AEROBIC WASTEWATER BIOREACTORS	554
SYNTHETIC ELASTIN-BASED COATINGS AS A BIOMIMETIC PLATFORM FOR ENHANCED CELL ADHESION	555
NEW RECORD OF PARASITE-HOST INTERACTIONS OF DIPLOSTOMUM SPATHACEUM IN ZARAFSHAN RIVER (CENTRAL UZBEKISTAN)	556
ADVANCES IN QUANTUM ALGORITHMS: SECURITY CHALLENGES AND ETHICAL IMPLICATIONS IN THE QUANTUM COMPUTING ERA	557
ECO-FRIENDLY ADSORPTION TECHNIQUES FOR WATER POLLUTANT REMOVAL USING NANOCOMPOSITES: SYNTHESIS AND PERFORMANCE OPTIMIZATION	558
ENHANCING GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES	559
SPATIAL MODELING OF SOIL EROSION IMPACTS ON WATER REGULATION IN THE HIGH ATLAS REGION	560



DEEP LEARNING-BASED TRAFFIC SIGN RECOGNITION UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS	561
DC BUS VOLTAGE CONTROL AND POWER FACTOR IMPROVEMENT USING BIDIRECTIONAL CONVERTERS	562
OPTIMIZING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	563
BRIDGING THE SKILLS GAP IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS EDUCATION FOR INDUSTRY READINESS IN RIVERS STATE.....	564
OPTIMIZATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATIONS.....	565
REMOTE SENSING-BASED SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN CASABLANCA (MOROCCO): ENVIRONMENTAL IMPACTS.....	566
EVALUATION OF GAMMA-RAY AND NEUTRON DISCRIMINATION TECHNIQUES IN SCINTILLATION DETECTORS	567
MATHEMATICAL MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN HUMAN CIRCULATORY SYSTEMi.....	568
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO WOOD NANOFIBERS AND THEIR PHOTODEGRADATION EFFECTS ON DYES.....	569
EXPERIMENTAL AND PROBABILISTIC STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D-PRINTED CONDUCTIVE POLYMERS.....	570
ANALYSIS OF LAST-MILE TRANSPORTATION ISSUES FACED BY AIRPORT PASSENGERS IN NIGERIA	571
DEVELOPMENT OF MAGNETIC SILICA-CHITOSAN NANOCOMPOSITES FOR EFFICIENT WASTEWATER REMEDIATION	574
ENHANCED ITERATIVE METHODS FOR SOLVING ELLIPTIC PDES: A NOVEL PARAMETRIC APPROACH ..	575
FIRST-PRINCIPLES COMPUTATIONAL STUDY OF SR-BASED HYDRIDE PEROVSKITES FOR HYDROGEN STORAGE.....	576
THE INTERPLAY OF SPORTS AND POPULAR CULTURE: HISTORICAL PERSPECTIVES AND CONTEMPORARY INSIGHTS.....	577
PRE-SERVICE TEACHERS' PERCEPTIONS AND MOTIVATIONS TOWARD AI INTEGRATION IN PHYSICS EDUCATION	578
VIRTUAL LABORATORIES IN SCIENCE EDUCATION: IMPACT ON TEACHERS' USABILITY PERCEPTIONS AND STUDENT SKILL DEVELOPMENT	579
PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY	580
YOLOV8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES	581
THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES	582
SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES.....	583
EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO2 ADDITIVES.....	584
ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS	585
DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES.....	586



STUDY ON THE MOLECULAR INTERACTIONS OF PYRAZOLINE DERIVATIVES WITH SARS-COV-2 MAIN PROTEASE (Mpro)	587
EFFECTS OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE (OSA) MODIFIED STARCH ON THE RHEOLOGICAL AND PARTICLE SIZE PROPERTIES OF XANTHAN GUM SOLUTIONS.....	588
NUTRACEUTICALS: BRIDGING THE GAP BETWEEN NUTRITION AND MEDICINE.....	589
NANOMATERIAL-ENHANCED TRANSDERMAL DELIVERY SYSTEMS FOR TREATING DERMATOLOGICAL CONDITIONS	590
A COMPREHENSIVE REVIEW OF HERBAL MEDICINAL DRUGS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS	591
CYTOLOGICAL AND MOLECULAR ANALYSIS OF SPUTUM SAMPLES FROM TUBERCULOSIS SUSPECTS IN WUA SETTLEMENT, NASARAWA STATE.....	592
KNOWLEDGE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH INTRAEPITHELIAL LESIONS AMONG CHILD-BEARING WOMEN IN JOS, NIGERIA	593

**ASSESSMENT OF THE INHIBITORY EFFECT OF *BEAUVERIA BASSIANA*
CULTURE FILTRATES ON SPORE GERMINATION OF THE PLANT PATHOGEN
*BOTRYTIS CINEREA***

M.Sc. Agri. Eng. Melike YILDIRIM

Isparta University of Applied Science Agricultural Faculty, Department of Plant Protection,
Isparta email: melike.t.yildirimm@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-0706-3406

Prof.Dr. Şerife Evrim ARICI*

Isparta University of Applied Science Agricultural Faculty, Department of Plant Protection,
Isparta, email: evrimarici@isparta.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5453-5869

*corresponding author email: evrimarici@isparta.edu.tr

ABSTRACT

Grey mold, caused by *Botrytis cinerea*, is a widespread fungal disease that leads to considerable yield losses in tomato cultivation. This study aimed to investigate the antifungal effects of culture filtrates from two entomopathogenic *Beauveria bassiana* isolates, BIM and BY2, applied at different concentrations under in vitro conditions. The *B. cinerea* Ant-4 isolate was grown on potato dextrose agar (PDA) at 25 ± 2 °C for 7 days, and a spore suspension was prepared at a concentration of 1×10^6 spores/mL. For the assay, 30 µL of the spore suspension of *B. cinerea* was mixed with an equal volume of *B. bassiana* culture filtrates at concentrations of 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% on sterile concave glass slides. Sterile distilled water was used as the control. The mixtures were incubated in a moist chamber at 25 ± 2 °C in the dark for 24 hours. Subsequently, spore germination was examined under a light microscope, and the percentage of germinated spores was recorded. Each treatment was replicated three times, counting 100 spores per replicate. Statistical analysis demonstrated significant differences in the inhibition of spore germination among the treatments, depending on both the filtrate concentration and fungal isolate. The culture filtrate of *Beauveria bassiana* isolate BIM exhibited the highest antifungal activity against *Botrytis cinerea* spore germination. At concentrations of 80% and 100%, the BIM filtrate inhibited spore germination by 95% or greater. All concentrations of the *B. bassiana* BY2 filtrate resulted in spore germination inhibition ranging between 88% and 94%. These results suggest that the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* BIM possesses significant potential as a biological control agent for managing grey mold disease in tomato cultivation.

Keywords: *Beauveria bassiana*, *Botrytis cinerea*, biological control, tomato, spore germination

BİTKİ PATOJENİ *BOTRYTIS CINEREA*'NİN SPOR ÇİMLENMESİ ÜZERİNE *BEAUVERIA BASSIANA* KÜLTÜR FİLTRATLARININ ENGELLEYİCİ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Botrytis cinerea'nın neden olduğu gri küf, domates yetiştiriciliğinde önemli verim kayıplarına yol açan yaygın bir fungal hastalıktır. Bu çalışmada, *in vitro* koşullar altında farklı konsantrasyonlarda uygulanan iki entomopatojen fungus *Beauveria bassiana* izolatu olan BIM ve BY2'den elde edilen kültür filtratlarının antifungal etkileri araştırılmıştır. *B. cinerea* Ant-4 izolatu, 25±2°C'de patates dekstroz agarında (PDA) 7 gün boyunca geliştirilmiştir ve 1×10⁶ spor/mL konsantrasyonunda bir spor süspansiyonu hazırlanmıştır. Deneme için, *B. cinerea*'nın spor süspansiyonunun 30 µL'si, steril içbükey cam slaytlar üzerinde %20, %40, %60, %80 ve %100 konsantrasyonlarında eşit hacimde *B. bassiana* kültür filtratı ile karıştırılmıştır. Kontrol olarak steril damıtılmış su kullanılmıştır. Karışımlar 25±2°C'de nemli bir odada karanlıkta 24 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra, spor çimlenmesi ışık mikroskobu altında incelenerek çimlenen sporların yüzdesi kaydedilmiştir. Her uygulama üç tekerrür uygulanmıştır ve tekerrür başına 100 spor sayılmıştır. İstatistiksel analiz hem filtrat konsantrasyonuna hem de fungal izolatına bağlı olarak uygulamalar arasında spor çimlenmesinin inhibisyonunda önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. *Beauveria bassiana* BIM kültür filtratı, *Botrytis cinerea* spor çimlenmesine karşı en yüksek antifungal aktiviteyi göstermiştir. %80 ve %100 konsantrasyonlarında, BIM filtratı spor çimlenmesini %95 veya daha fazla oranda engellemiştir. *B. bassiana* BY2 filtratının tüm konsantrasyonları %88 ile %94 arasında değişen spor çimlenmesi inhibisyonuyla sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar, entomopatojen fungus *Beauveria bassiana* BIM'in domates yetiştiriciliğinde gri küf hastalığının kontrolünde biyolojik kontrol ajanı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Entomopatojen fungus, *Beauveria bassiana*, *Botrytis cinerea*, biyolojik mücadele, domates, spor çimlenmesi

1. INTRODUCTION

Botrytis cinerea (Pers.) [teleomorph *Botryotinia fuckeliana*] is a significant, widespread, and destructive plant pathogen that causes major pre- and post-harvest losses (Tzortzakis N., 2019; Wang et al., 2021; Aboelez et al., 2024). *Botrytis cinerea*, which can act both parasitically and saprophytically, has a high adaptability to different climatic and soil conditions and a wide host range, causing gray mold disease in approximately 1400 plant species (Domsch et al., 1993; Çiftçi & Altınok, 2019; Jiao et al., 2022; Guo et al., 2023). *Botrytis cinerea*, a necrotrophic fungus that causes plant cell death while fulfilling its nutritional needs, can invade almost all parts of the plant; this makes the control of the pathogen difficult (Hua et al., 2018; Rodriguez-Moreno et al., 2018; Roca-Couso et al., 2021; Hajji-Hedfi et al., 2023). Continuous and extensive application of conventional synthetic fungicides for gray mold control has led to significant risks such as increasing costs, the emergence of resistant fungal strains,

environmental pollution, threats to human health, and fungicide residues after harvest (Abbey et al., 2019; Matrose et al., 2021; Aboelez et al., 2024). There is a need for alternative methods that are residue-free, safe for human and animal health, and environmentally friendly, and biological control is undoubtedly a good method of combating the disease (Botero et al., 2018; Sarven et al., 2020; Wang et al., 2021). Significant success has been achieved in the use of microorganisms such as viruses, bacteria, fungi, and nematodes as biocontrol agents (Bidochka & Khachatourians, 1991; Parveen & Rashtrapal, 2024). Numerous studies have emphasized that the microorganisms used suppress plant diseases through mechanisms such as mycoparasitism, antibiosis, and competition, or by enhancing the plant's defense system through systemic acquired resistance (SAR) or induced systemic resistance (ISR) (Mehari et al., 2015; Gupta & Bar, 2020; Gupta et al., 2022). Among biological microorganisms, entomopathogenic fungi have been reported to have dual control potential against both insect pests and plant pathogens (Shin et al., 2007; Lozano-Tovar et al., 2013; Yun et al., 2017).

Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. belongs to the phylum Ascomycota, order Hypocreales, family Cordycipitaceae. It is a ubiquitous soil-borne saprophytic fungus. It is an effective entomopathogenic fungus against many insect orders such as Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera, Hymenoptera, Homoptera, Hemiptera, and Orthoptera (Li et al., 2001; Sabbahi, 2008; Vellingiri, 2015; Dannon et al., 2020). *Beauveria bassiana* has generally been used as an antagonistic endophyte to combat plant diseases caused by pathogens such as fungi, bacteria, and viruses. Its ability to produce various bioactive and antimicrobial metabolites such as oosporein, beauvericin, bassianolide, bassianin, beauveriolide, bassiacridin, cordycepin, and cyclosporin may contribute to this (Bultman & Bell, 2003; Parveen & Rashtrapal, 2024). Previous studies have evaluated the effects of *Beauveria bassiana* on plant diseases. *Beauveria bassiana* isolates have inhibited the in vitro mycelial growth of many soil- and leaf-borne plant pathogens including *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Renwick et al., 1991), *Armillaria mellea* and *Rosellinia necatrix* (Reisenzein & Tiefenbrunner, 1997), *Fusarium oxysporum* (Bark et al., 1996; Reisenzein & Tiefenbrunner, 1997), *Botrytis cinerea* (Bark et al., 1996), and *Rhizoctonia solani* (Lee et al., 1999) (Ownley et al., 2008).

In this study, the effect of culture filtrates obtained from *Beauveria bassiana* BIM and BY2 isolates under in vitro conditions on the spore germination of *B. cinerea*, which causes gray mold disease in tomato, was evaluated, and inhibition rates were calculated to determine the most effective isolate.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, the *Botrytis cinerea* ANT-4 isolate, isolated from greenhouses in Antalya in 2022, and the culture filtrates of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* BIM and BY2 isolates, obtained by Dr. Asiye UZUN from the Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, were used. This study was carried out in the Tissue Culture and Biotechnology Laboratory of the Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences between 2023 and 2024. The

entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* BIM and BY2 isolates and the pathogenic fungus *Botrytis cinerea*, were cultured for 10 days at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ on potato dextrose agar (PDA) medium.

2.1. Preparation of Culture Filtrates

Mycelial discs (3 discs of 0.5 cm diameter) of the BIM and BY2 isolates of *Beauveria bassiana* were inoculated into 250 ml Erlenmeyer flasks containing 50 ml of potato dextrose broth (PDB) and incubated at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 15 days. The obtained culture filtrates were filtered through Whatman filter paper No.1 to remove mycelia, and then passed through 0.45-micrometer filters to obtain sterile pure culture filtrates.

2.2. Effect of Culture Filtrates on Spore Germination of *B. cinerea*

The *Botrytis cinerea* ANT-4 isolate was incubated for 7 days on PDA medium at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, and a spore suspension was prepared at a concentration of 1×10^6 spores/ml. Onto sterile concave glass slides, 30 μl of *B. cinerea* spore suspension (1×10^6 spores/ml) and 30 μl of culture filtrates at different concentrations (20%, 40%, 60%, 80%, and 100%) were mixed. Sterile distilled water was used as the control (0%). The samples were incubated in a humid environment at room temperature ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$) in the dark. After 24 hours, the germinated spores were counted under a light microscope and the percentage of germination was determined (Thongkamngam & Jaenaksorn, 2016). Each treatment was performed in three replicates. In each replicate, 100 spores were counted. Spores with a germ tube at least twice the length of the spore were considered germinated.

The inhibition rate of *B. bassiana* culture filtrates on the spore germination of *B. cinerea* was calculated using the Vincent formula (Vincent, 1947):

$$\text{Inhibition (\%)} = [(C - T) / C] \times 100$$

C = Spore germination percentage in the control group (%)

T = Spore germination percentage in the treatment (culture filtrate) group (%)

2.3. Statistical Analysis

The data obtained from the experiments were evaluated using the General Linear Model (GLM) analysis and the Tukey multiple comparison test. Statistical analyses were conducted using the IBM® SPSS® Statistics software (Version 24.0) and MS Excel 2010 (Version 14.0) packages.

3. RESULTS AND EVALUATION

The effects of the culture filtrates from the BIM and BY2 isolates of *Beauveria bassiana* at different concentrations (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%) on the spore germination of *B. cinerea* were evaluated, and inhibition rates were calculated as percentages (Table 1). Statistically significant differences were determined between the doses and isolates in the inhibition of *Botrytis cinerea* spore germination. The culture filtrate of *B. bassiana* BIM was found to be the most effective against *B. cinerea* spore germination; the 80% and 100% concentrations inhibited *B. cinerea* spore germination by 95% or more. In comparison, all concentrations of the *B. bassiana* BY2 culture filtrate inhibited *B. cinerea* spore germination by 88% to 94% (Figure 1).

Table 1. Effect of culture filtrate concentrations on *B. cinerea* spore germination

Isolates	Effect of culture filtrate concentrations on <i>B. cinerea</i> spore germination (%)				
	Doses (%)				
	20	40	60	80	100
<i>B. bassiana</i> BIM	61±1.20ij*	62±0.33ij	79±0.57fgh	95±0.33ab	98.33±0.33a
<i>B. bassiana</i> BY2	88±0.57cde	92±1.15bc	90±0.33bc	94±0.33ab	90±0.66bc

* Means sharing the same letter are not significantly different according to Tukey's multiple comparison test ($P < 0.05$).

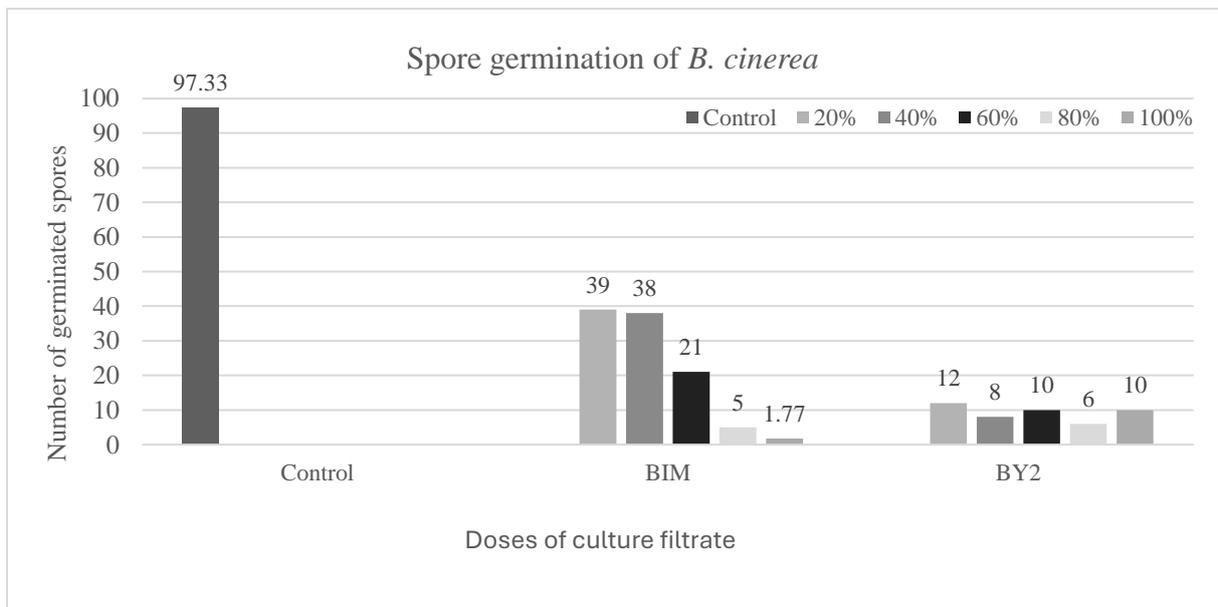


Figure 1. Spore germination of *B. cinerea* in the presence of different concentrations of BIM and BY2 culture filtrates.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

B. cinerea has caused serious yield losses in tomato greenhouses in recent years. The most common method for controlling *B. cinerea* is the application of fungicides, and such applications are still ongoing. However, fungicide residues cause environmental damage, and the use and overuse of fungicides from the same group lead to the development of resistance in *B. cinerea* (Vos et al., 2015; Sarven et al., 2020; Roca-Couso et al., 2021). Therefore, there is a need for safe and effective biological control methods that leave no residue, are environmentally friendly, and are safe for human and animal health to control gray mold disease in tomatoes (Botero et al., 2018; Sarven et al., 2020; Wang et al., 2021).

Entomopathogenic fungi are generally considered insect pathogens; however, a number of recent studies have revealed that they also play additional roles in nature, such as endophytism, antagonism against plant diseases, promotion of plant growth, and rhizosphere colonization (Vega et al., 2009; Lacey et al., 2015; Jaber & Ownley, 2017). Despite these newly discovered properties, attention has focused on developing these fungi as effective biopesticides against insect and other arthropod pests (Faria & Wraight, 2007; Jaber & Ownley, 2018). However, there are also studies suggesting that they can be used as endophytes, antagonists of plant diseases, plant growth promoters, and rhizosphere colonizers (Ownley et al., 2010; Lacey et al., 2015; Jaber & Enkerli, 2016). In a study by Sasan and Bidochka (2013), culture filtrates of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* inhibited the spore germination of *Fusarium solani* by 83%. Gothandapani et al. (2014) evaluated in vitro, the 50% and 100% concentrations of culture filtrates of three different entomopathogenic fungi—*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Verticillium lecanii*—against *Alternaria porri*, the causal agent of purple blotch disease in onions. The highest percentages of mycelial and conidial germination inhibition were found in *B. bassiana* at 69.24% and 97.81%, respectively, while the lowest were observed in *M. anisopliae* at 45.81% and 42.11%. Sarven et al. (2020) evaluated the culture filtrates of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* against *B. cinerea* in tomatoes. The 10% concentration of *M. anisopliae* culture filtrate inhibited 88.62% of the radial colony growth and 63.85% of the germination of sclerotia, and completely inhibited conidial germination of *B. cinerea*. Guigón-López et al. (2021) evaluated the antagonistic activity of the *Metarhizium anisopliae* Ma70 strain against *B. cinerea* under in vitro conditions. Ma70 extracts were found to inhibit *B. cinerea* conidial germination by 92% and mycelial growth by 50%–80%. Ávila-Hernández et al. (2022) evaluated the effects of culture filtrates obtained under different culture conditions (pH, sugar concentration, carbon and nitrogen sources, stirring speed, etc.) from the *Beauveria bassiana* PQ2 isolate on the mycelial growth and spore germination of *Gibberella moniliformis* LIA. The results showed that metabolites of *B. bassiana* PQ2 inhibited both mycelial growth and spore germination of the pathogen. Analyses determined that this antifungal activity was largely due to the secondary metabolite named oosporein produced by *B. bassiana*.

Holz et al. (2023) evaluated the in vitro and in planta biocontrol efficacy of cell-free culture filtrates and conidial suspensions of *Metarhizium anisopliae* (MABR-01) and *M. humberi* (MHBR-03) against *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust in soybeans. The 50% concentrations of culture filtrates of *M. anisopliae* and *M. humberi* inhibited the germination of *P. pachyrhizi* urediniospores by 85% and 96%, respectively, compared to the 50% potato dextrose broth (PDB) control. Conidial suspensions did not inhibit *P. pachyrhizi* in vitro; however, *M. anisopliae* conidial suspension controlled rust disease by 51% in plants. In a study conducted by Cheruiyot (2023), the biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* and *Beauveria bassiana* against *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani* on tomatoes was

investigated. The culture filtrate of *T. harzianum* was found to be ineffective against *A. solani*, while it showed only a weak effect against *P. infestans* at the highest concentration. The culture filtrate of *B. bassiana* was found to be more effective than *T. harzianum*, inhibiting *A. solani* by 38.88%, although it was ineffective against *P. infestans*. Martinko and Mihovilović (2024) examined the antifungal effect of *B. bassiana* on *Botrytis cinerea* under different pH conditions using dual culture and volatile metabolite test methods. In the study, *B. bassiana* inhibited *B. cinerea* mycelial growth by approximately 36% at pH 7.2, and by 4% at pH 5.6. Similarly, in the volatile metabolite test under pH 7.2 conditions, pathogen development was inhibited by 38%. Microscopic examinations showed that *B. bassiana* caused morphological deformations, vacuolization, and reduced spore production in *B. cinerea* hyphae. In addition, other studies have confirmed that *B. cinerea* adjusts its environmental pH by producing and releasing acidic or ammonium compounds, and it changes the substrate pH by producing oxalic acid in a neutral environment. Considering the defense mechanisms and toxins of *B. cinerea*, the antagonistic activity of different *B. bassiana* isolates is variable and generally combined with several mechanisms (Ownley et al., 2008; Vega et al., 2009; Rasclé et al., 2018; Martinko & Mihovilović, 2024), but further detailed studies are still needed. On the other hand, entomopathogenic fungi have been reported to have dual control potential against insect pests and plant pathogens. This potential arises from the production of various metabolites such as antibiotics, bioactive volatile compounds, and enzymes (Shin et al., 2007; Vega et al., 2008; Lozano-Tovar et al., 2013; Yun et al., 2017). The secondary metabolites produced by these fungi possess various insecticidal, antimicrobial, anticancer, and antioxidant properties (Isaka et al., 2005; Shin et al., 2007; Yun et al., 2017). *B. bassiana* produces secondary metabolites such as oosporein, tenellin, bassianin, beauvericin, bassianolide, and oxalic acid. Among them, beauvericin, oosporein, and tenellin obtained from liquid culture have been the most extensively studied (Ávila-Hernández et al., 2020).

In our study, the effects of culture filtrates obtained from the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the spore germination of the plant pathogen *Botrytis cinerea*, which causes gray mold in tomatoes, were evaluated. Whether *B. bassiana* has potential for use as an antagonist against plant diseases was also determined. The effects of culture filtrates of the *Beauveria bassiana* BIM and BY2 isolates at different concentrations (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%) on *B. cinerea* spore germination were evaluated. The most effective culture filtrate against *B. cinerea* spore germination was that of *B. bassiana* BIM. The 80% and 100% doses of BIM culture filtrate inhibited *B. cinerea* spore germination by 95% or more. All doses of *B. bassiana* BY2 culture filtrate inhibited *B. cinerea* spore germination by 88%–94%.

According to the results obtained in our study, both isolates were generally found to be successful in inhibiting *B. cinerea* spore germination. The 80% and 100% doses of BIM culture filtrate and the doses of 40% or higher of BY2 culture filtrate have potential to be used as antagonists against *B. cinerea*, the causal agent of gray mold disease in tomatoes, and may play an important role in future biological control strategies.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by ISUBU Scientific Research Projects Coordination Unit with the project number 2022-YL1-0171 and is part of a master's thesis (YOK Thesis No: 10718281).

CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest among the authors.

REFERENCES

- Abbey, J. A., Percival, D., Abbey, L., Asiedu, S. K., Prithiviraj, B., & Schilder, A. Biofungicides as alternative to synthetic fungicide control of *Botrytis cinerea* - prospects and challenges, *Biocontrol Science and Technology*, 29(3), 241–262, 2019. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1548574>
- Aboelez, E. M., Selim, M. A. E., Yousef, S. A., Hamza, S., Shabana, Y. M., & Elsherbiny, E. A. Biocontrol efficacy of *Botrytis cinerea* on postharvest tomato fruit by the endophytic bacterium *Bacillus velezensis* BE1, *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 136, 102183, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102427>
- Ávila-Hernández, G., Hernández-Mendoza, J. L., Gutiérrez-Rodríguez, R. M., Guerrero-Rodríguez, J. G., Salazar-Badillo, F. B., & Aranda, E. Secondary metabolites from *Beauveria bassiana* PQ2 inhibit the growth and spore germination of *Gibberella moniliformis* LIA, *Frontiers in Microbiology*, 53, 143–152, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00668-z>
- Ávila-Hernández, J. G., Carrillo-Inungaray, M. L., De la Cruz Quiroz, R., & colleagues. *Beauveria bassiana* secondary metabolites: A review inside their production systems, biosynthesis, and bioactivities, *Mexican Journal of Biotechnology*, 5(4), 1–33, 2020. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2020.5.4.1>
- Bark, Y. G., Lee, D. G., Kim, Y. H., & Kang, S. C. Antibiotic properties of an entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on *Fusarium oxysporum* and *Botrytis cinerea*, *Korean Journal of Plant Pathology*, 12, 245–250, 1996.
- Botero, D., Alvarado, C., & Bernal, A. Network analyses in plant pathogens, *Frontiers in Microbiology*, 9, 35, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00035>
- Bultman, T. L., & Bell, G. D. Interaction between fungal endophytes and environmental stressors influences plant resistance to insects, *Oikos*, 103(1), 182–190, 2003. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.11574.x>
- Cheruiyot, E. J. Bio-control potential of *Trichoderma harzianum* and *Beauveria bassiana* against *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani* in tomatoes, University of Eldoret, 2023.
- Çiftçi, G., & Altınok, H. H. Patlıcan tohumlarında bitki büyüme düzenleyici rizobakteri uygulamalarının kurşuni küf (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.) hastalığına etkileri, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(3), 421–429, 2019. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.492824>
- Dannon, H. F., Dannon, A. E., Douro-Kpindou, O. K., Zinsou, A. V., Houndété, A. T., Toffa-Mehinto, J., Elégbédé, I. A. T. M., Olou, B. D., & Tamò, M. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management, *Journal of Cotton Research*, 3(1), 24, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>
- de Faria, M. R., & Wraight, S. P. Mycoinsecticides and mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types, *Biological Control*, 43(3), 237–256, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001>

Domsch, K. H., Gams, W., & Anderson, T. Compendium of soil fungi, Academic Press, 1993.

Gothandapani, S., Boopalakrishnan, G., Prabhakaran, N., Chethana, B. S., Aravindhan, M., Saravanakumar, M., & Ganeshan, G. Evaluation of entomopathogenic fungus against *Alternaria porri* (Ellis) causing purple blotch disease of onion, Archives of Phytopathology and Plant Protection, 48(2), 135–144, 2014. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.884532>

Guigón-López, C., Holguín-Ibarra, P. D., Torres-Zapien, J. H., García-Cruz, I., Villapando, I., & Salas-Salazar, N. A. *Metarhizium anisopliae* reduces conidial germination and mycelium growth of the apple gray mold *Botrytis cinerea*, Biological Control, 160, 104660, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104660>

Guo, J., Xu, Y., Liang, S., Zhou, Z., Zhang, C., Li, K., Peng, X., Qin, S., & Xing, K. Antifungal activity of volatile compounds from *Bacillus tequilensis* XK29 against *Botrytis cinerea* causing gray mold on cherry tomatoes, Postharvest Biology and Technology, 198, 111313, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112239>

Gupta, R., & Bar, M. Plant immunity, priming, and systemic resistance as mechanisms for *Trichoderma* spp. biocontrol. In *Trichoderma: Host-pathogen interactions and applications* (pp. 81–110), Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_5

Gupta, R., Keppanan, R., Leibman-Markus, M., Rav-David, D., Elad, Y., Ment, D., & Bar, M. The entomopathogenic fungi *Metarhizium brunneum* and *Beauveria bassiana* promote systemic immunity and confer resistance to a broad range of pests and pathogens in tomato, Phytopathology, 112(4), 784–793, 2022. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-21-0343-R>

Hajji-Hedfi, L., Rhouma, A., Hajlaoui, H., Hajlaoui, F., & Rebouh, N. Y. Understanding the influence of applying two culture filtrates to control gray mold disease (*Botrytis cinerea*) in tomato, Agronomy, 13(7), 1774, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071774>

Holz, S., D'Alessandro, C. P., Maximo, H. J., Nascimento de Souza, P. H., Raruang, Y., Demétrio, C. G. B., ... Pascholati, S. F. The potential of using *Metarhizium anisopliae* and *Metarhizium humberti* to control the Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*, Biocontrol Science and Technology, 33(4), 366–382, 2023. <https://doi.org/10.1080/09583157.2023.2191299>

Hua, L., Yong, C., Zhanquan, Z., Boqiang, L., Guozheng, Q., & Shiping, T. Pathogenic mechanisms and control strategies of *Botrytis cinerea* causing post-harvest decay in fruits and vegetables, Food Quality and Safety, 2(2), 111–119, 2018. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy016>

Isaka, M., Kittakoop, P., Kirtikara, K., Hywel-Jones, N. L., & Thebtaranonth, Y. Bioactive substances from insect pathogenic fungi, Accounts of Chemical Research, 38(8), 813–823, 2005. <https://doi.org/10.1021/ar040247r>

Jaber, L. R., & Enkerli, J. Fungal entomopathogens as endophytes: Can they promote plant growth?, Biocontrol Science and Technology, 26(7), 939–957, 2016. <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227>

Jaber, L. R., & Ownley, B. H. Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens?, *Biological Control*, 116, 36–45, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018>

Jiao, W., Liu, X., Li, Y., Li, B., Du, Y., Zhang, Z., Chen, Q., & Fu, M. Organic acid, a virulence factor for pathogenic fungi, causing postharvest decay in fruits, *Molecular Plant Pathology*, 23(2), 304–312, 2022. <https://doi.org/10.1111/mpp.13159>

Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future, *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1–41, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>

Lee, S.-M., Yeo, W.-H., Jee, H.-J., Shin, S.-C., & Moon, Y.-S. Effect of entomopathogenic fungi on growth of cucumber and *Rhizoctonia solani*, *Journal of Forestry Science*, 62, 118–125, 1999.

Li, Z. Z., Li, C. R., Huang, B., & Fan, M. Z. Discovery and demonstration of the teleomorph of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., an important entomogenous fungus, *Chinese Science Bulletin*, 46(9), 751–753, 2001. <https://doi.org/10.1007/BF03187215>

Lozano-Tovar, M. D., Ortiz-Urquiza, A., Garrido-Jurado, I., Trapero-Casas, A., & Quesada-Moraga, E. Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive, *Biological Control*, 67, 409–420, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.09.006>

Martinko, K., & Mihovilović, A. Antifungal effect of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* on the phytopathogenic fungi *Botrytis cinerea*, *Journal of Central European Agriculture*, 25(4), 1005–1013, 2024. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.4.4185>

Matrose, N. A., Obikeze, K., Belay, Z. A., & Caleb, O. J. Plant extracts and other natural compounds as alternatives for post-harvest management of fruit fungal pathogens: A review, *Food Bioscience*, 41, 100840, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100840>

Mehari, Z. H., Elad, Y., Rav-David, D., Graber, E. R., & Meller Harel, Y. Induced systemic resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*) against *Botrytis cinerea* by biochar amendment involves jasmonic acid signaling, *Plant and Soil*, 395(1), 31–44, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2445-1>

Ownley, B. H., Dee, M. M., & Gwinn, K. Effect of conidial seed treatment rate of entomopathogenic *Beauveria bassiana* 11-98 on endophytic colonization of tomato seedlings and control of *Rhizoctonia* disease, *Phytopathology*, 98(6), S118, 2008a.

Ownley, B. H., Griffin, M. R., Klingeman, W. E., Gwinn, K. D., Moulton, J. K., & Pereira, R. M. *Beauveria bassiana*: Endophytic colonization and plant disease control, *Journal of Invertebrate Pathology*, 98(3), 267–270, 2008b. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.010>

Ownley, B. H., Gwinn, K. D., & Vega, F. E. Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: Ecology and evolution, *BioControl*, 55, 113–128, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9241-x>

Parveen, S. S., & Rashtrapal, P. S. Integrated pest management strategies using endophytic entomopathogenic fungi, *Plant Science Today*, 11(1), 568–574, 2024. <https://doi.org/10.14719/pst.2740>

Rasclé, C., Dieryckx, C., Dupuy, J. W., Muszkieta, L., Souibgui, E., Droux, M., Bruel, C., Girard, V., & Poussereau, N. The pH regulator PacC: A host-dependent virulence factor in *Botrytis cinerea*, *Environmental Microbiology Reports*, 10(5), 555–568, 2018. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12663>

Reisenzein, H., & Tiefenbrunner, W. Growth inhibiting effect of different isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill. to the plant parasitic fungi of the genera *Fusarium*, *Armillaria* and *Rosellinia*, *Pflanzenschutzbericht*, 57(1), 15–24, 1997.

Renwick, A., Campbell, R., & Coe, S. Assessment of in vivo screening systems for potential biocontrol agents of *Gaeumannomyces graminis*, *Plant Pathology*, 40(4), 524–532, 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1991.tb02415.x>

Roca-Couso, R., Flores-Félix, J. D., & Rivas, R. Mechanisms of action of microbial biocontrol agents against *Botrytis cinerea*, *Journal of Fungi*, 7(12), 1045, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7121045>

Rodriguez-Moreno, L., Ebert, M. K., Bolton, M. D., & Thomma, B. H. Tools of the crook-infection strategies of fungal plant pathogens, *Plant Journal*, 93(4), 664–674, 2018. <https://doi.org/10.1111/tpj.13810>

Sabbahi, R. Use of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in a strategy of phytosanitary management of the main insect pests in strawberry plantations [Doctoral thesis, University of Quebec], 2008.

Sarven, M. S., Hao, Q., Deng, J., Yang, F., Wang, G., Xiao, Y., & Xiao, X. Biological control of tomato gray mold caused by *Botrytis cinerea* with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*, *Pathogens*, 9(3), 213, 2020. <https://doi.org/10.3390/pathogens9030213>

Sasan, R. K., & Bidochka, M. J. Antagonism of the endophytic insect pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* against the bean plant pathogen *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(3), 288–293, 2013. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.823114>

Shin, T. Y., Bae, S. M., Kim, D. J., Yun, H. G., & Woo, S. D. Evaluation of virulence, tolerance to environmental factors and antimicrobial activities of entomopathogenic fungi against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, *Mycoscience*, 58(3), 204–212, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2017.02.002>

Thongkamngam, T., & Jaenaksorn, T. Efficacy of culture filtrate from *Fusarium oxysporum* F221-B against plant pathogenic fungi in vitro and *Fusarium* root rot and wilt disease in hydroponics, *International Journal of Agricultural Technology*, 12(3), 513–526, 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14348.23687>

Tzortzakakis, N. Physiological and proteomic approaches to address the active role of *Botrytis cinerea* inoculation in tomato postharvest ripening, *Microorganisms*, 7(12), 681, 2019. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120681>

Vega, F. E., Goettel, M. S., Blackwell, M., Chandler, D., Jackson, M. A., Keller, S., Koike, M., Maniania, N. K., Monzón, A., Ownley, B. H., Pell, J. K., Rangel, D. E. N., & Roy, H. E. Fungal entomopathogens: New insights on their ecology, *Fungal Ecology*, 2(4), 149–159, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.05.001>

Vellingiri, V. Entomopathogenic fungi as biocontrol agents: A special focus on *Beauveria bassiana* and *Hirsutella* [Presentation slides], SlideShare, 2015. <https://www.slideshare.net/slideshow/entamopathogenic-fungi-as-biocontrol-agents-a-special-focus-on-beauveria-bassiana-and-hirsutella/49769248>

Vincent, J. M. Distortion of fungal hyphae in the presence of certain inhibitors, *Nature*, 159, 850, 1947.

Vos, C. M. F., De Cremer, K., Cammue, B. P. A., & De Coninck, B. The toolbox of *Trichoderma* spp. in the biocontrol of *Botrytis cinerea* disease, *Molecular Plant Pathology*, 16(4), 400–412, 2015. <https://doi.org/10.1111/mpp.12189>

Wang, X., Zhou, X., Cai, Z., Guo, L., Chen, X., Chen, X., Liu, J., Feng, M., Qiu, Y., Zhang, Y., et al. A biocontrol strain of *Pseudomonas aeruginosa* CQ-40 promotes growth and controls *Botrytis cinerea* in tomato, *Pathogens*, 10(1), 22, 2021. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010022>

Wang, Y., Qiao, Y., Zhang, M., Ma, Z., Xue, Y., Mi, Q., Wang, A., & Feng, J. Potential value of small-molecule organic acids for the control of postharvest gray mold caused by *Botrytis cinerea*, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 177, 104884, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104884>

Yun, H. G., Kim, D. J., Gwak, W. S., Shin, T. Y., & Woo, S. D. Entomopathogenic fungi as dual control agents against both the pest *Myzus persicae* and phytopathogen *Botrytis cinerea*, *Mycobiology*, 45(3), 192–198, 2017. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.3.192>

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SELECTED ESSENTIAL OILS AGAINST *RHIZOCTONIA SOLANI* IN POTATO TUBER

Prof.Dr. Şerife Evrim ARICI*

Isparta University of Applied Science Agricultural Faculty, Department of Plant Protection,
Isparta, email: evrimarici@isparta.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5453-5869

*corresponding author email: evrimarici@isparta.edu.tr

ABSTRACT

In this study, the *in vitro* antifungal activities of essential oils extracted from oregano (*Origanum vulgare*), juniper (*Juniperus communis*), and spearmint (*Mentha spicata*) were evaluated against *Rhizoctonia solani*, a significant pathogen responsible for rot diseases in potatoes. Sterile deionized water served as the negative control. The essential oils were tested at different concentrations (500, 1000, 2000, 4000 ppm) to determine their inhibitory effects on the mycelial growth of *R. solani*. Each concentration of essential oil was incorporated into Potato Dextrose Agar (PDA) medium and poured into 9-cm Petri dishes. Mycelial discs (5 mm diameter), excised from 7-day-old *R. solani* cultures using a sterile cork borer, were placed centrally on the PDA plates containing different oil concentrations. The plates were sealed with parafilm and incubated at 25 ± 2 °C. Oregano oil exhibited 100% inhibition of mycelial growth even at the lowest concentration (500 ppm/L). Juniper oil showed antifungal activity only at the highest concentration (4000 ppm), whereas spearmint oil completely inhibited fungal growth at concentrations of 1000 ppm and above. The results suggest that essential oils from *O. vulgare*, *J. communis*, and *M. spicata* may serve as alternative antimicrobial agents for managing *R. solani* in potato crops. However, further research under field conditions is needed to validate their practical application.

Keywords: Antifungal activity, biological control, essential oil; potato; *Rhizoctonia solani*

ÖZET

Bu çalışmada, kekik (*Origanum vulgare*), ardıç (*Juniperus communis*) ve nane (*Mentha spicata*) bitkilerinden elde edilen uçucu yağların, patateslerde çürüklük hastalıklarına neden olan önemli bir patojen olan *Rhizoctonia solani*'ye karşı *in vitro* antifungal aktiviteleri değerlendirilmiştir. Negatif kontrol olarak steril deiyonize su kullanılmıştır. Uçucu yağlar, *R. solani*'nin miselyum gelişimi üzerindeki engelleyici etkilerini belirlemek amacıyla 500, 1000, 2000 ve 4000 ppm olmak üzere farklı konsantrasyonlarda test edilmiştir. Her bir uçucu yağ konsantrasyonu, Patates Dekstroz Agar (PDA) besiyerine eklenerek 9 cm çapındaki Petri kaplarına dökülmüştür. Yedi günlük *R. solani* kültürlerinden steril mantar delici yardımıyla alınan 5 mm çapındaki miselyum diskleri, uçucu yağ içeren PDA ortamlarının merkezine yerleştirilmiştir. Petri kapları parafilm ile kapatılarak 25 ± 2 °C'de inkübe edilmiştir. Kekik yağı, en düşük konsantrasyon olan 500 ppm'de dahi miselyum gelişimini %100 oranında inhibe

etmiştir. Ardiç yağı yalnızca en yüksek konsantrasyonda (4000 ppm) antifungal etki göstermiştir. Nane yağı ise 1000 ppm ve üzerindeki konsantrasyonlarda fungal gelişimi tamamen durdurmuştur. Elde edilen bulgular, *O. vulgare*, *J. communis* ve *M. spicata*'dan elde edilen uçucu yağların, patates tarımında *R. solani* ile mücadelede alternatif antimikrobiyal ajanlar olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak bu yağların tarla koşullarındaki etkinliğinin belirlenebilmesi için daha ileri düzeyde araştırmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Antifungal aktivite, biyolojik kontrol, uçucu yağ, patates, *Rhizoctonia solani*

1. INTRODUCTION

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is not only a significant global food source but also an economically valuable crop (FAO, 2023). However, various fungal pathogens encountered during production can cause substantial yield losses. Among these, *Rhizoctonia solani* Kühn notably induces tuber rot and root diseases, adversely affecting plant development and reducing productivity (Arıcı et al., 2024; Akdeniz & Kesimci, 2024). Fungicides are commonly applied to control this disease in potato cultivation. Increasing environmental awareness and the pursuit of sustainable agriculture necessitate the development of eco-friendly, residue-free alternatives that minimize resistance development in plant disease management (Li et al., 2022; Kumar et al., 2023). In this context, plant-derived natural compounds—especially essential oils—have emerged as promising substitutes for synthetic fungicides. These oils contain biologically active components such as phenolics, terpenes, aldehydes, and alcohols, exhibiting antifungal, antibacterial, and antiviral properties against numerous pathogens (Bakkali et al., 2008; Chen et al., 2021). Such compounds disrupt fungal cell walls and membranes, inhibiting pathogen growth and spread (Tian et al., 2011; Kumar et al., 2023).

Essential oils from plants like thyme (*Thymus vulgaris*), cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*), and clove (*Syzygium aromaticum*) have been shown to be effective against *R. solani* and other fungal pathogens in multiple studies (Arıcı et al., 2024; Akdeniz & Kesimci, 2024). Additionally, oils from *Lavandula dentata*, *Salvia officinalis*, and *Cymbopogon citratus* have demonstrated inhibitory effects on both mycelial growth and sclerotia formation (Mokhtar et al., 2021). Species such as *Mentha longifolia* and *Achillea arabica* also exhibit notable antifungal activity against soil-borne pathogens (Akdeniz & Kesimci, 2024). The efficacy of essential oils depends on the type, concentration, and composition of their phenolic compounds—such as thymol, cinnamaldehyde, and eugenol—as well as application methods (contact or vapor phase) and dosage (Chen et al., 2021; Li et al., 2022; Kumar et al., 2023).

Recently, medicinal and aromatic plants like *Origanum vulgare* (oregano), *Juniperus communis* (juniper), and *Mentha spicata* (spearmint) have attracted attention due to their potent antifungal secondary metabolites. The main constituents of *O. vulgare*, carvacrol and thymol, inhibit pathogens including *Botrytis cinerea*, *Monilinia* spp., and *Penicillium expansum* (Zhou et al., 2021; Xing et al., 2014). Compounds such as carvone and limonene in *M. spicata* exert inhibitory effects on *Aspergillus flavus*, *Fusarium* spp., and *Rhizopus stolonifer* (Zunino &

Zygadlo, 2004; Boukhatem et al., 2014). Likewise, monoterpenes like α -pinene, sabinene, and terpinen-4-ol in *J. communis* display antifungal activity against *Candida albicans*, *Ascochyta rabiei*, and *Alternaria alternata* (Bouzabata et al., 2013; Essid et al., 2017). Their modes of action include disruption of membrane permeability and inhibition of sporulation and toxin production (Tian et al., 2011; Tantaoui-Elaraki et al., 1995).

This study evaluated the in vitro antifungal activities of essential oils from *O. vulgare*, *J. communis*, and *M. spicata* against *R. solani*, a key pathogen causing significant economic losses in potato production. The findings aim to contribute to the potential use of these natural products in biological control and promote sustainable agricultural practices.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Essential Oils

Essential oils of oregano (*Origanum vulgare*), juniper (*Juniperus communis*), and spearmint (*Mentha spicata*) were obtained by Prof. Dr. Arif Şanlı from the Department of Field Crops at Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture. The oils were stored in dark glass bottles at 4°C until use.

2.2. Fungal Culture

In this study, *Rhizoctonia solani* isolates, which were previously isolated, identified, and subjected to pathogenicity testing by Prof. Dr. Ş. Evrim Arıcı in the Phytopathology Laboratory of the Department of Plant Protection at Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture, were used. In the experiments, the fungi were cultivated on PDA medium at 25°C for 7 days before being utilized.

2.3. Preparation of Media and Antifungal Assay

The PDA medium, prepared in Erlenmeyer flasks, was sterilized at 121°C for 20 minutes and then cooled to 40°C in a water bath. After cooling, essential oils were added at concentrations of 0, 500, 1000, 2000, and 4000 μ L/L, and the mixtures were poured into sterile Petri dishes, each containing 15 mL of the medium. The essential oils were dissolved in 0.05% Tween 80 before addition to the medium. For the control, only water containing 0.05% Tween 80 was used.

Mycelial discs (0.5 mm in diameter) from 7-day-old *R. solani* fungal cultures, previously grown on PDA medium at 25°C, were placed at the center of Petri dishes containing the mixture of essential oil and PDA medium. The Petri dish lids were tightly sealed with Parafilm, and the dishes were incubated at 25°C. Colony diameters of the fungi in the Petri dishes were measured when the control plates became completely covered with fungi. The percentage of mycelial growth inhibition was calculated using the following formula:

Inhibition (%) = $[(A - B) / A] \times 100$, where A represents the radial growth of the mycelium in the control plates, and B represents the radial growth in the treated plates (Gakuubi et al., 2017).

2.4. Data Analysis

Percentage inhibition of mycelial growth was calculated relative to the control using the data obtained from the experiments. These data were evaluated using Tukey's multiple comparison test ($p < 0.05$). Statistical analyses were performed using IBM® SPSS® Statistics version 22.

3. RESULTS AND EVALUATION

In this study, the effects of different doses of essential oils obtained from oregano (*Origanum vulgare*), juniper (*Juniperus communis*), and spearmint (*Mentha spicata*) on the mycelial growth of *Rhizoctonia solani* were investigated. According to the findings, all applied doses of essential oils inhibited the mycelial growth of the fungus to varying degrees. Statistically significant differences were observed among the essential oils and their doses applied against *R. solani*, with oregano (*Origanum vulgare*) being identified as the most effective essential oil. In terms of antifungal activity, oregano oil was followed by spearmint (*Mentha spicata*) and juniper (*Juniperus communis*), respectively. Overall, although the effectiveness varied across different doses, the most effective dose was recorded as 4000 $\mu\text{L/L}$, while the least effective dose was 500 $\mu\text{L/L}$ (Table 1). These results confirm that the antifungal efficacy of essential oils varies significantly depending on both the plant species and the applied concentration. Among the tested oils, oregano was the most effective across all doses, followed by spearmint and then juniper.

Table 1: Effect of different concentrations of essential oils on the mycelial growth of *Rhizoctonia solani*

Doses ($\mu\text{L/L}$)	Essential oil					
	<i>Origanum vulgare</i>		<i>Mentha spicata</i>		<i>Juniperus communis</i>	
	Mycelial growth (cm)	Inhibition rate (%)	Mycelial growth (cm)	Inhibition rate (%)	Mycelial growth (cm)	Inhibition rate (%)
500	0	100 a*	9	0 d	8.3	7.78 d
1000	0	100 a	0	100 a	5.3	41.11 c
2000	0	100 a	0	100 a	3.3	63.33 b
4000	0	100 a	0	100 a	0	100 a
Kontrol	9	0 d	9	0 d	9	0 d

* Means sharing the same letter are not significantly different according to Tukey's multiple comparison test ($P < 0.05$).

In this study, the effects of different doses of essential oils obtained from oregano (*Origanum vulgare*), juniper (*Juniperus communis*), and spearmint (*Mentha spicata*) on the mycelial growth of *Rhizoctonia solani* were investigated. According to the findings, all applied doses of essential oils inhibited the mycelial growth of the fungus to varying degrees. Statistically significant differences were observed among the essential oils and their doses applied against *R. solani*, with oregano (*Origanum vulgare*) being identified as the most effective essential oil. In terms of antifungal activity, oregano oil was followed by spearmint (*Mentha spicata*) and juniper (*Juniperus communis*), respectively. Overall, although the effectiveness varied across different doses, the most effective dose was recorded as 4000 $\mu\text{L/L}$, while the least effective dose was 500 $\mu\text{L/L}$ (Table 1). These results confirm that the antifungal efficacy of essential oils varies significantly depending on both the plant species and the applied concentration. Among the tested oils, oregano was the most effective across all doses, followed by spearmint and then juniper.

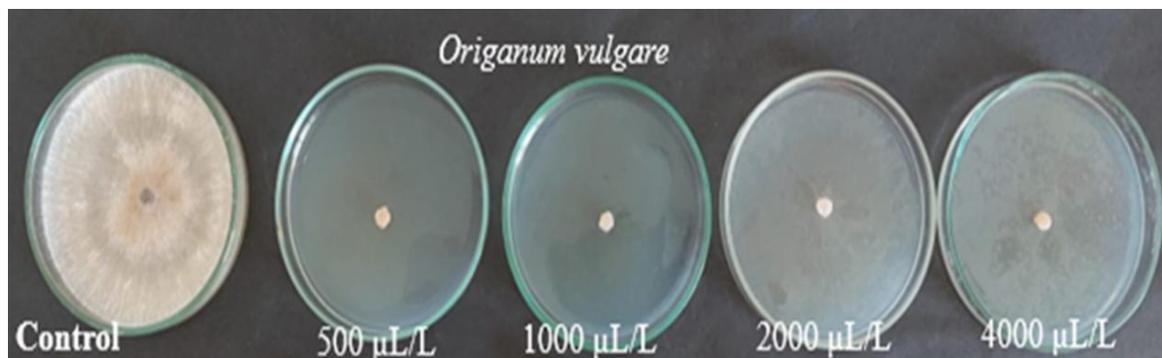


Figure 1. Effect of different doses of *Origanum vulgare* essential oil on the mycelial growth of *Rhizoctonia solani*.

Spearmint (*Mentha spicata*) essential oil exhibited a strong inhibitory effect on *Rhizoctonia solani* mycelial growth at concentrations of 1000 $\mu\text{L/L}$ and higher; complete (100%) inhibition was observed. In contrast, at the lowest tested concentration of 500 $\mu\text{L/L}$, the essential oil did not suppress fungal growth, showing no significant difference compared to the untreated control. These findings indicate that the antifungal activity of spearmint oil is strongly dose-dependent, with effective suppression occurring only at elevated concentrations (Figure 2).

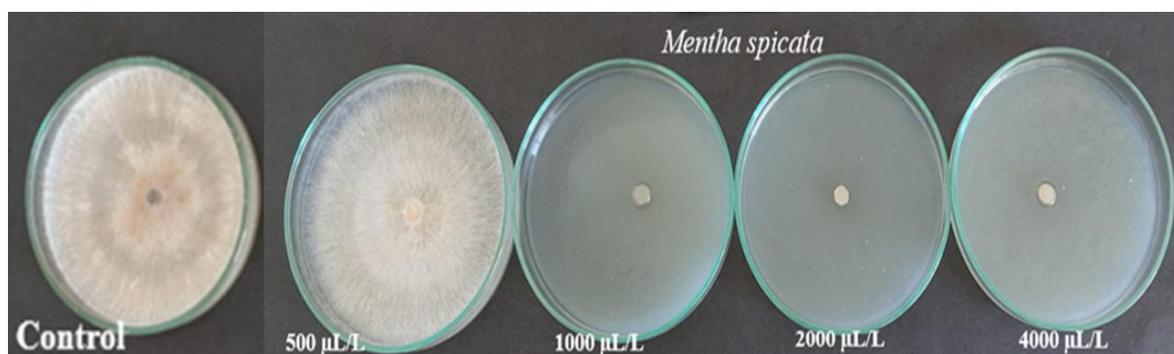


Figure 2. Effect of different doses of *Mentha spicata* essential oil on the mycelial growth of *Rhizoctonia solani*.

Juniper (*Juniperus communis*) essential oil exhibited the lowest level of antifungal efficacy among the tested oils. While complete (100%) inhibition of *Rhizoctonia solani* mycelial growth was observed only at the highest concentration of 4000 $\mu\text{L/L}$, lower concentrations (500–2000 $\mu\text{L/L}$) resulted in only partial suppression, ranging from 7.7% to 63.33%. However, at these lower doses, the reductions in fungal growth were not statistically significant compared to the control, indicating limited biological activity at suboptimal concentrations. These results suggest that juniper oil requires relatively high concentrations to exert an effective antifungal response against *R. solani* (Figure 3).



Figure 3. Effect of different doses of *Juniperus communis* essential oil on the mycelial growth of *Rhizoctonia solani*.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In this study, the *in vitro* antifungal activities of essential oils from *Origanum vulgare*, *Juniperus communis*, and *Mentha spicata* against *Rhizoctonia solani*, a major pathogen causing significant economic losses in potato production, were evaluated. Our results are consistent with previous studies. Among the tested oils, oregano oil exhibited the strongest antifungal activity against *R. solani*. This finding aligns with prior reports attributing the potent antifungal effect of oregano oil to its high content of phenolic monoterpenes, particularly carvacrol and thymol (Zhou et al., 2021; Boukhatem et al., 2014; Bouzabata et al., 2013; Essid et al., 2017). The essential oil of *O. vulgare* contains substantial amounts of thymol and carvacrol, which disrupt fungal cell membrane permeability and integrity, inducing oxidative stress that leads to cell death (Wu et al., 2022; Arıçı et al., 2024). Wu et al. (2022) demonstrated that oregano oil increases reactive oxygen species (ROS) in *R. solani* cells, impairing membrane structure and energy metabolism, resulting in up to 100% growth inhibition even at low concentrations. Similarly, Zhou et al. (2021) reported that oregano oil suppresses mycelial growth and spore germination of *Botrytis cinerea*, limiting pathogen development on fruit surfaces. Additionally, Xing et al. (2014) found that thymol and carvacrol reduce mycotoxin production in *Aspergillus* species. These findings suggest that oregano oil is a broad-spectrum and powerful antifungal agent. The essential oil of *M. spicata* (spearmint) contains various monoterpenes, mainly carvone, limonene, and sabinene. Its antifungal effect was dose-dependent, with complete inhibition of mycelial growth observed at concentrations of 1000 $\mu\text{L/L}$ and above, while about 55% inhibition was achieved

at 500 $\mu\text{L/L}$ (Khaledi et al., 2015). Boukhatem et al. (2014) also reported strong antifungal activity of spearmint oil against soil-borne pathogens such as *Fusarium* spp. and *Aspergillus flavus*. Furthermore, Zunino and Zygodlo (2004) indicated that essential oils from *Mentha* species could be used to prevent fungal contamination in food preservation. Juniper oil demonstrated significant antifungal activity only at the highest tested concentration of 4000 $\mu\text{L/L}$, with limited effects at lower doses. The essential oil of *J. communis* mainly contains hydrocarbon monoterpenes, such as α -pinene, sabinene, and terpinen-4-ol, which lack phenolic compounds, explaining its relatively lower antifungal potential. Similarly, Ok et al. (2024) reported weaker antifungal effects of juniper oil compared to essential oils rich in phenolic derivatives.

Overall, the in vitro results indicate that essential oils from oregano, juniper, and spearmint possess strong antifungal activity against soil-borne pathogens such as *R. solani*. Moreover, the combined use of these oils with biological control agents or low-dose fungicides may generate synergistic effects, enhancing efficacy while reducing pesticide application and minimizing resistance development. Thus, integrated management strategies leveraging these natural products offer environmentally friendly and resistance-mitigating advantages. Although promising results were obtained with essential oils, directly translating these findings to field conditions presents several challenges. Environmental factors such as soil composition, microbial competition, temperature, and humidity affect the volatility and stability of essential oils, thereby reducing their antifungal efficacy (Arıcı & Şanlı, 2014). Additionally, high-dose applications may cause phytotoxicity in crop plants, necessitating rigorous safety evaluations before use (Khaledi et al., 2015). To overcome these limitations, advanced formulation Technologies such as nanoencapsulation and emulsification are critical. These approaches enhance the oils' environmental stability, reduce volatility, and enable controlled release, thereby improving antifungal performance in agricultural applications.

In conclusion, the natural chemical profiles of essential oils offer significant potential as biological control agents. However, sustainable and safe field applications require standardized, comprehensive in vitro and in vivo studies, supported by thorough toxicological assessments and optimized application protocols.

CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest among the authors.

REFERENCES

- Akdeniz, G., & Kesimci, B. Evaluation of antifungal activities of essential oils against soil-borne pathogens, *Journal of Agricultural Sciences*, 30(1), 45–54, 2024.
- Arıcı, Ş. E., Şanlı, A., & Demirtaş, İ. Biocontrol potential of medicinal plant essential oils against *Rhizoctonia solani* in vitro, *Plant Protection Bulletin*, 64(2), 121–129, 2024.

- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. Biological effects of essential oils – A review, *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Barilaro, D., Barone, G., Crupi, V., Majolino, D. Characterization of Archeological Findings by FT-IR Spectroscopy, *Spectroscopy*, April, 20(4), 2005.
- Boukhatem, M. N., Ferhat, M. A., Kameli, A., Saidi, F., & Kebir, H. T. Lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as a potent anti-inflammatory and antifungal drug, *Libyan Journal of Medicine*, 9(1), 25431, 2014. <https://doi.org/10.3402/ljm.v9.25431>
- Bouzabata, A., Laouer, H., Rebiahi, S. A., Zidane, L., & Bessedik, M. Antimicrobial activity of essential oil extracted from *Juniperus communis* L. growing in Algeria, *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(11), 698–704, 2013.
- Chen, Y., Zeng, H., Tian, J., & Ban, X. Recent advances in the antifungal mechanism of plant essential oils, *Food Frontiers*, 2(2), 216–227, 2021. <https://doi.org/10.1002/fft2.87>
- Essid, R., Mrabet, Y., Mejri, M., Hammami, M., & Chehimi, M. Antifungal and antioxidant activities of essential oil from *Juniperus communis* leaves, *Industrial Crops and Products*, 102, 202–205, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.019>
- FAO. FAOSTAT Statistical Database, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. <https://www.fao.org/faostat>
- Gakuubi, M. M., Maina, A. W., & Wagacha, J. M. Antifungal activity of essential oil of *Tagetes minuta* against selected plant pathogenic fungi, *International Journal of Microbiology*, 2017, 1–10, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1927820>
- Khaledi, N., Taheri, P., & Falahati-Rastegar, M. Antifungal activity of plant essential oils on the mycelial growth of *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* isolates from potato, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(1), 1–10, 2015. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.903077>
- Kumar, A., Singh, P., & Singh, P. K. Essential oils: A green and sustainable approach for crop protection against fungal diseases, *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 453–470, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21632-5>
- Li, Y., Wang, M., Wang, Y., Wang, Y., & Li, L. Antifungal potential and action mechanism of plant essential oils, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 182, 105015, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105015>
- Mokhtar, M., Zohri, A., & Abdel-Rahim, A. Control of *Rhizoctonia solani* using essential oils from aromatic plants, *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 55, 2021. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00404-z>
- Ok, T., Karakuş, G., & Demirtaş, İ. Comparative evaluation of antifungal properties of selected essential oils against phytopathogenic fungi, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 48(2), 112–120, 2024.

Tantaoui-Elaraki, A., & Beraoud, L. Inhibition of growth and aflatoxin production in *Aspergillus parasiticus* by essential oils of selected plant materials, *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 14(2), 67–72, 1995.

Tian, J., Ban, X., Zeng, H., He, J., Chen, Y., & Wang, Y. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Cicuta virosa* L. var. *latisecta* Celak, *International Journal of Food Microbiology*, 145(2–3), 464–470, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.015>

Wu, Y., Zhao, B., Wang, W., & Zhang, H. Antifungal effects of oregano essential oil against *Rhizoctonia solani*: ROS accumulation and membrane disruption mechanisms, *Plant Disease*, 106(6), 1789–1797, 2022. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-21-1494-RE>

Xing, F., Hua, H., Selvaraj, J. N., Zhao, Y., Zhou, L., Liu, X., & Liu, Y. Growth inhibition and morphological alterations of *Aspergillus flavus* by essential oil from *Mentha arvensis* L., *Industrial Crops and Products*, 62, 69–74, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.004>

Zhou, D., Zeng, H., Wang, P., & Tian, J. Antifungal activity of *Origanum vulgare* essential oil and its mechanism against *Botrytis cinerea*, *Postharvest Biology and Technology*, 177, 111519, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111519>

Zunino, M. P., & Zygadlo, J. A. Effect of essential oils on *Aspergillus flavus* growth parameters and aflatoxin accumulation, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6374–6378, 2004. <https://doi.org/10.1021/jf049625f>

CORIANDRUM (*CORIANDRUM SATIVUM* L.) CULTIVATION AND ITS ECONOMIC IMPORTANCE

Prof. Dr. BELGİN COŞGE ŞENKAL

Yozgat Bozok University, belgin.senkal@yobu.edu.tr-0000-0001-7330-8098

ABSTRACT

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is an important annual plant belonging to the Apiaceae family, known for its aromatic and medicinal properties. Both its fresh leaves (as a vegetable) and ripe fruits (as a spice) are consumed. The essential oils it contains (especially linalool) make coriander versatile in the food, pharmaceutical, cosmetic, and aromatherapy sectors. Coriander is widely cultivated worldwide in South Asia, the Middle East, North Africa, and the Mediterranean countries. In Türkiye, it is cultivated primarily in regions such as Isparta, Burdur, and Konya, gaining commercial value in both local and international markets. Coriander's low water and input requirements, short growing season, and rich biochemical composition make it a suitable alternative for sustainable agricultural systems. Furthermore, coriander has high export potential, and its ability to be converted into value-added products provides economic advantages to producers. This study evaluates the botanical characteristics, cultivation techniques, areas of use, and economic importance of coriander based on literature data. Supporting coriander cultivation is crucial for diversifying medicinal and aromatic plants and contributing to rural development.

Keywords: Coriander, sowing time, essential oil, fruit yield.

1. INTRODUCTION

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is an annual cultivated plant belonging to the Apiaceae family and has economic value due to both its leaves and fruits (Mhemdi et al., 2011; Beemnet, 2020). Although originally considered native to the Eastern Mediterranean basin and Western Asia, it is now widely distributed throughout Asia, Europe, Africa, and the Americas. Historically, coriander, one of the oldest cultivated medicinal and aromatic plants, was used both as a culinary spice and as a healing resource in traditional medicine in ancient Egyptian, Greek, and Roman times. Today, coriander maintains its importance with its versatile applications worldwide (Spence, 2023).

Coriander leaves are consumed fresh, particularly in salads and stews for their aroma. Its fruits are considered a spice and, due to their essential oil content, are widely used in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The essential oil content of ripe coriander fruits ranges from 0.2–1.5%, the most important component being linalool (Önder, 2018). Linalool, in addition to its use in the food industry as a flavoring and aroma enhancer, is also pharmacologically valuable for its antimicrobial, antioxidant, digestive, and sedative properties.

The seeds also contain fixed oil (16–28%), protein, and minerals. These properties make coriander not only a spice but also a functional food and a potential phytotherapeutic resource. Coriander fruits possess carminative properties; they are most used as an appetite stimulant, carminative, parasitic, diuretic, and sedative (Özcan, 2023).

2. CORIANDER CULTIVATION

Climate and Soil Requirements: Coriander grows particularly well in hot and dry regions. However, satisfactory yields are also achieved in temperate regions. The plant thrives best in soils that are lightly sandy or sandy-loam, rich in lime, and have a neutral or slightly alkaline pH (Sharma et al., 2014).

Seed: For genotypes used for seed, the weight of a thousand fruits varies between 5 and 10 g. Seed material must have a purity of 98% and a germination rate of 75% (Baydar, 2009; Inan et al., 2014).

Sowing, Maintenance, and Harvesting: Sowing time is in March and April. The seed quantity to be used for planting is 10-15 kg ha⁻¹ (Tekin et al., 2023). Row spacing is 20-30 cm. Sowing depth should be 1.5-2.5 cm. Because the initial growth of plants is slow, weed control should be prioritized before and after sowing. Fertilizers and fertilizer quantities applied to coriander are like those applied to cereals. Nitrogen is an essential nutrient for increasing fruit yield in coriander cultivation. 4-8 kg N per decare is applied upon sowing (Baydar, 2009). Excessive nitrogen fertilization causes plants to lodge. Phosphorus and potash fertilizers increase drought resistance in coriander and improve seed quality. Phosphorus fertilizer has a positive effect on the amount of essential oil in coriander. Coriander requires high water until flowering. With a proper and adequate irrigation program, fruit yield can be increased by up to 70%. However, dry, sunny weather is required after flowering.

Coriander takes 3-5 months to mature. It is harvested in July and August. Delays in harvesting can lead to significant fruit losses. Therefore, harvesting should be done early in the morning to minimize fruit loss. Harvesting with a combination harvester should be done with care to avoid excessive fruit loss. Coriander fruit yield ranges from 0.5 and over 3-ton ha⁻¹ (Nowak and Szempliński, 2014). However, yields vary depending on ecological conditions, the genotype of the variety used, the characteristics of the seed, the care applied (weed control, irrigation, fertilization, etc.), and cultural practices.

Post-Harvest Processing: Coriander leaves are harvested fresh, washed, dried (naturally, microwaved, or freeze-dried), and then ground and packaged. The leaves are processed into various products, such as purees and pastes used in the fast-food industry. The pale yellow, ripe fruits, with their characteristic odor and flavor, are ground and used in powder form. Dried fruits can also be stored whole and used in vinegar production. Coriander essential oil is obtained from ripe fruits (Bhat et al., 2014).

3. CORIANDER CULTIVATION AND ITS ECONOMIC IMPORTANCE IN THE WORLD AND TÜRKİYE

In 2023, India became the largest coriander producer, followed by Türkiye, Mexico, Russia, Iran, China, Syria, Egypt, Morocco, and Vietnam. India, the largest producer, is also a leading coriander exporter. China is the leading importer (Figure 1).

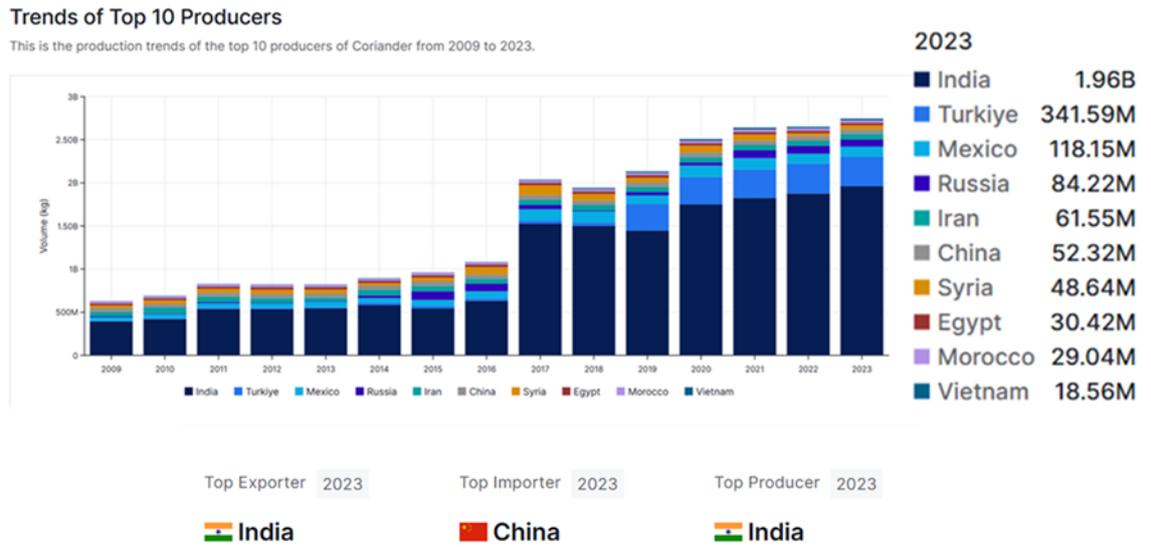


Figure 1. Top 10 Countries in the World in Coriander Production (Source: <https://www.tridge.com/intelligences/coriander/production> Access date: 21.09.2025)

In Türkiye, 101 tons of production was achieved from an area of 1.841 da in 2024. Production increased depending on the cultivation area over the years (TÜİK, 2025) (Table 1).

Table 1. Coriander Production in Türkiye

Year	Area (Decare)	Production (Tonnes)
2012	11	1
2013	11	1
2014	11	1
2015	150	11
2016	503	42
2017	410	29
2018	405	29
2019	155	12
2020	2 455	188

2021	2 612	253
2022	1 571	204
2023	1 932	222
2024	1 841	101

(Source: <https://data.tuik.gov.tr/> Access date: 22.09.2025)

Coriander is a plant that can be easily grown in many regions of Türkiye. Türkiye's diverse climate allows it to grow productively in certain regions (Inan et al., 2014). The Mediterranean, Aegean, Marmara, and Central Anatolia regions are the most suitable areas for coriander cultivation. In Turkey, it is cultivated in the areas surrounding Mardin, Gaziantep, Burdur, Erzurum, Denizli, Konya, and Ankara, as well as in the provinces of Aydın, Manisa, İzmir, and Adana. Coriander is an important commercially marketed plant in Türkiye (Mert and Bahadırılı, 2023). Popular in both domestic and international markets, coriander is particularly favored by the spice industry and medicinal herb producers.

Global Coriander Fruit Essential Oil Market Size and Growth Rate:

The global coriander (*Coriandrum sativum*) essential oil market reached USD 27.55 million by 2024 and is projected to reach USD 57.03 million by 2032. This growth is expected to be at a compound annual growth rate (CAGR) of 9.52% during the 2024–2032 period. Market expansion is driven by increasing consumer interest in natural and plant-derived essential oils in the personal care, pharmaceutical, and food and beverage industries. Furthermore, increasing scientific awareness of the anti-inflammatory, antimicrobial, and digestive-supportive pharmacological effects of coriander oil is contributing to market growth by encouraging its use in health and therapeutic applications (Figure 2).

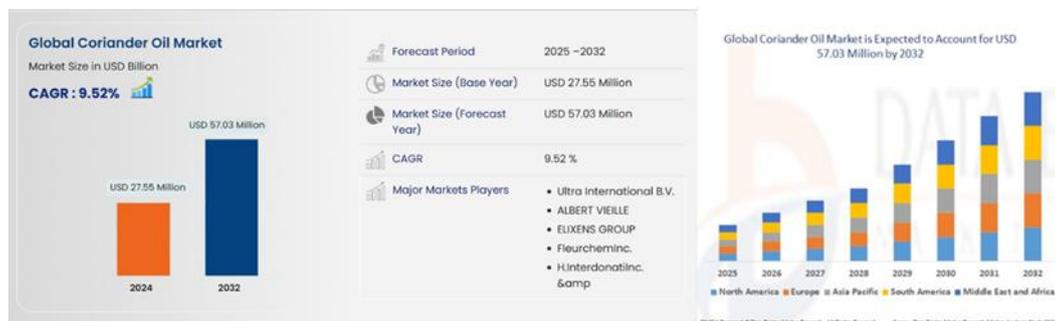


Figure 2. Global coriander oil market

(Source:<https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-coriander-oil-market>. Access date: 05.10.2025)

3. CONCLUSION

Coriander is a plant that can be successfully grown in many regions of Türkiye and is important for both commercial and medicinal purposes. With good care and the right climatic conditions, coriander cultivation can be a beneficial activity both environmentally and economically.

-Increased product diversity: Adding aromatic and medicinal plants like coriander enriches farmers' product portfolios.

-Value-added agriculture: Coriander is a plant with high market value. Its dried seeds, leaves, and oil can be sold at a premium. It can contribute to rural development.

-Drought-resistant alternative: Because coriander requires relatively little water, it can offer advantages in climate change conditions.

-High export potential: The Middle East, India, Asia, and Europe have high demand for coriander.

-Value-added product exports: Selling coriander as essential oil or organic coriander can increase income.

Expanding coriander cultivation in Türkiye could have positive multi-sectoral impacts. However, this process must be supported by:

- planned support policies,
- farmer training, and
- market access strategies.

REFERENCES

Baydar, B., *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayını, Isparta, 2009.

Beemnet, M.K. Unleashing the Exploitation of Coriander (*Coriander sativum* L.) for Biological, Industrial and Pharmaceutical Applications, *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res.*, 8, 552-564, 2020.

Bhat, S., Kaushal, P., Kaur, M., Sharma, H.K. Coriander (*Coriandrum sativum* L.): Processing, Nutritional and Functional Aspects, *African Journal of Plant Science*, 8, 25-33, 2014.

İnan, M., Kirici, S., Sultan Giray, E., Turk, M., Taghikhani, H. Determination of Suitable Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Cultivars for Eastern Mediterranean Region, *Turkish Journal of Field Crops*, 19, 1-6, 2014.

Mert, A., Bahadırılı, N.P. Determination of Fresh and Dry Herb Yield and Quality Characterization of Different Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Populations Grown under Eastern Mediterranean Conditions. *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 29, 55-61, 2023.

Mhemdi, H., Rodier, E., Kechaou, N., Fages, J. A Supercritical Tuneable Process for The Selective Extraction of Fats and Essential Oil from Coriander Seeds, *J. Food Engg.*, 105, 609-616, 2011.

Nowak, J., Szempliński, W. Influence of Sowing Date on Yield and Fruit Quality of Coriander (*Coriandrum sativum* L.), Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus, 13, 83-96, 2014.

Onder, A. *Coriander and its phytoconstituents for the beneficial effects. Potential of Essential Oils*, Intech Open, Rijeka, Croatia, 2018.

Özcan, M.M. Comparison of Physico-Chemical Properties, Phytochemical Compositions and Sensory Characteristics of Wheat Breads Enriched with Coriander Seed Powder, Foods, 12,1412, 2023.

Sharma, R.P., Singh, R.S., Verma, T.P., Tailor, B.L., Sharma, S.S., Singh, S.K. Coriander the Taste of Vegetables: Present and Future Prospectus for Coriander Seed Production in Southeast Rajasthan, Econ. Aff., 59, 345, 2014.

Spence, C. Coriander (cilantro): A Most Divisive, International Journal of Gastronomy and Food Science, 33,100799, 2023.

Tekin, G.K, Hajyzadeh, M., Altun, S., Toncer, Ö. Effect of Different Sowing Rates on The Fatty Acid Composition of Coriander Grown in Winter and Spring in Semi-Arid Conditions, Journal of Elementology, 28, 497-509, 2023.

TÜİK. 2025. <https://data.tuik.gov.tr/> (Access date: 22.09.2025)

RELATIONSHIPS OF MORPHOLOGICAL CHARACTERS WITH FRUIT YIELD AND ESSENTIAL OIL CONTENT IN CORIANDER (*CORIANDRUM SATIVUM* L.)

Prof. Dr. BELGİN COŞGE ŞENKAL

Yozgat Bozok University, belgin.senkal@yobu.edu.tr-0000-0001-7330-8098

ABSTRACT

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is an annual, medicinal, and aromatic plant belonging to the Apiaceae family. Its fruits are widely used in the spice, pharmaceutical, cosmetic, and food industries due to their essential oil (2% and above) and fixed oil (16–28%) content. The essential oil content of the fruit is an important quality trait. In coriander cultivation, fruit yield, essential oil content, and yield components are key criteria for economic value. To increase plant yield, it is crucial to develop varieties with high yield potential and incorporate them into production patterns and optimize cultivation techniques. Fruit yield is not the result of a single trait; it results from the integrated interaction of morphological, phenological, and agronomic characters such as plant height, branching status, umbel count, thousand-seed weight, and flowering time. Therefore, determining the relationships between morphological traits, fruit yield, and essential oil content is critical for both determining selection criteria in breeding studies and developing breeding strategies. In this study, the effects of morphological and agronomic characters on fruit yield and essential oil content were evaluated using data (plant height, number of branches, number of umbrellas, 1000 fruit weight, fruit yield, essential oil content, etc.) obtained from coriander genotypes grown in the Yozgat ecological conditions.

Keywords: Coriander, yield, correlation, essential oil, path analysis, biplot.

1. INTRODUCTION

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is an annual, medicinal, and aromatic plant belonging to the Apiaceae family. Its fruits are widely used in the spice, pharmaceutical, cosmetic, and food industries (Mahleyuddin et al., 2021).

Coriander branches generally form on the upper stem. The plant typically grows between 30 and 80 cm tall. However, depending on growing conditions and genetics, it can grow up to 1 m tall. The lower leaves are segmented and broad, resembling parsley leaves and having three lobes. The upper leaves are thinner. Coriander has an umbrella-shaped inflorescence (Kharat et al., 2025). The flowers are small and white or pink. A single flower has five sepals, five stamens, and one pistil with a two-part stigma (Baydar, 2009). Flowering occurs in June and July.

Coriander fruit is dark yellow, spherical, 2-7 mm in diameter, and has a distinctive aroma, spicy, sweet, and pungent flavor. The weight of 1000 fruits vary between 5 and 18 g. Coriander fruits contain up to 2% essential oil (Ravi et al., 2007; Mandal and Mandal, 2015). Linalool is the main component of their essential oil. Linalool is an important raw material used in perfumes

and cosmetics (Kharat et al., 2025). Furthermore, the seeds contain 16-28% fatty oil, 30% protein, and significant amounts of vitamins A and C (shahwar et al., 2012).

The essential oil content in the fruit is a key quality characteristic. In coriander cultivation, fruit yield, essential oil content, and yield components are key criteria for economic value. To increase plant yield, it is crucial to develop varieties with high yield potential and incorporate them into production patterns, as well as optimize cultivation techniques. Fruit yield is not the result of a single trait; it results from the integrated interaction of morphological, phenological, and agronomic characters such as plant height, branching, umbel count, thousand-seed weight, and flowering time. Therefore, determining the relationships between morphological traits, fruit yield, and essential oil content is critical for both determining selection criteria in breeding studies and developing cultivation strategies (Suwarti et al., 2022; Walubita et al., 2022).

This study used data (plant height, number of branches, number of umbels, 1000 fruit weight, fruit yield, essential oil content, etc.) obtained from coriander genotypes grown in Yozgat's ecological conditions to evaluate the effects of morphological and agronomic traits on fruit yield and essential oil content.

2. MATERIALS AND METHODS

This study used data from research conducted in different years using two coriander cultivars (Arslan and Gürbüz) in the Yozgat ecological conditions. The following yield and yield traits were evaluated:

Plant Height (cm) [PH]: The height from the soil level to the top of the mature plants was measured in cm, and the average height of these plants was determined as the plant height.

Number of Branches (number plant⁻¹) [NB]: The number of branches per plant was counted and the average was calculated.

Number of Umbrellas (number plant⁻¹) [NU]: The number of fruits per umbel was counted and the average was calculated.

Number of Fruit (number umbrella⁻¹) [NS]: The number of fruits per umbel was counted and the average was calculated.

First Branch Height (cm) [FBH]: The height from the soil level to the first branch of plants at harvest maturity was measured in cm, and the average height of these plants was determined as the first branch height.

Thousand Seed Weight (g) [TSW]: 4x100 seeds were counted from the pure seed portion of each study sample, and these counted seeds were weighed individually on a precision scale. The average of these four weighing was then taken and multiplied by 10 to determine the thousand seed weight in g.

Biological Yield (kg da⁻¹) [BY]: All plants in each plot were harvested and weighed after removing the marginal effects, and the plot area was calculated in kg/da.

Fruit Yield (kg da⁻¹) [FY]: All plants in each plot were harvested after removing the marginal effects, and the seeds were weighed. The obtained values were used to calculate the yield per decare in kg/da based on the plot area.

Stem Yield (kg da⁻¹) [SY]: Seed yield values were subtracted from the biological yield values for each plot, and stem yield was determined in kg/da.

Harvest Index (%) [HI]: Grain yield from each plot was calculated by dividing it by the biological yield.

Essential Oil Ratio (%) [EOR]: 100-gram fruit samples from plant samples taken from each plot were ground and subjected to distillation in a Clevenger apparatus (in 500 ml of water for 3 hours). The essential oil content was determined as a percentage of dry matter.

Essential Oil Yield (L da⁻¹) [EOY]: The essential oil content at the mature seed stage was multiplied by the seed yield per decare to determine the essential oil yield per decare in L/da.

Descriptive statistics for all data were used to evaluate the effects of agricultural and morphological characters on fruit yield and essential oil content using correlation analysis, path analysis, and principal component analysis. Analyses were performed using MINITAB and JASP programs.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Descriptive statistical information regarding the yield and yield components examined in the study is summarized in Table 1.

Table 1. Descriptive Statistical Information

Descriptive Statistics	PH	NU	NB	NS	FBH	TSW	BY	FY	HI	EOR	EOY
Mean	50.05	7.064	4.367	21.74	22.96	12.71	166.9	71.40	48.59	0.520	35.10
Std. Deviation	8.547	2.233	0.723	8.579	5.308	4.182	101.6	34.90	9.862	0.147	15.81
Minimum	38.95	4.400	2.530	14.40	14.63	9.020	38.89	21.52	32.77	0.180	6.970
Maximum	76.33	16.00	5.270	51.33	30.10	28.94	477.0	164.0	74.03	0.770	64.73

PH (cm); NU (number plant⁻¹); NB (number plant⁻¹); NS (number umbrella⁻¹); FBH (cm); TSW (g); BY (kg da⁻¹); FY (kg da⁻¹); HI (%); EOR (%); EOY (L da⁻¹)

The plant height of the varieties used in the research varied between 38.95-76.33 cm, number of branches 4.4-16.0 pieces, number of umbels 2.53-5.27 pieces, number of seeds per umbels 14.40-51.33 pieces, first branch height 14.63-30.10 cm, biological yield 38.89-477 kg da⁻¹, fruit yield 21.52-164.0 kg da⁻¹, harvest index 32.77-74.03%, essential oil ratio 0.180-0.770% and essential oil yield 6.97-64.73L da⁻¹ (Table 1). Histogram graphics related to the distribution of all data regarding the yield and yield components examined are given in Figure 1.

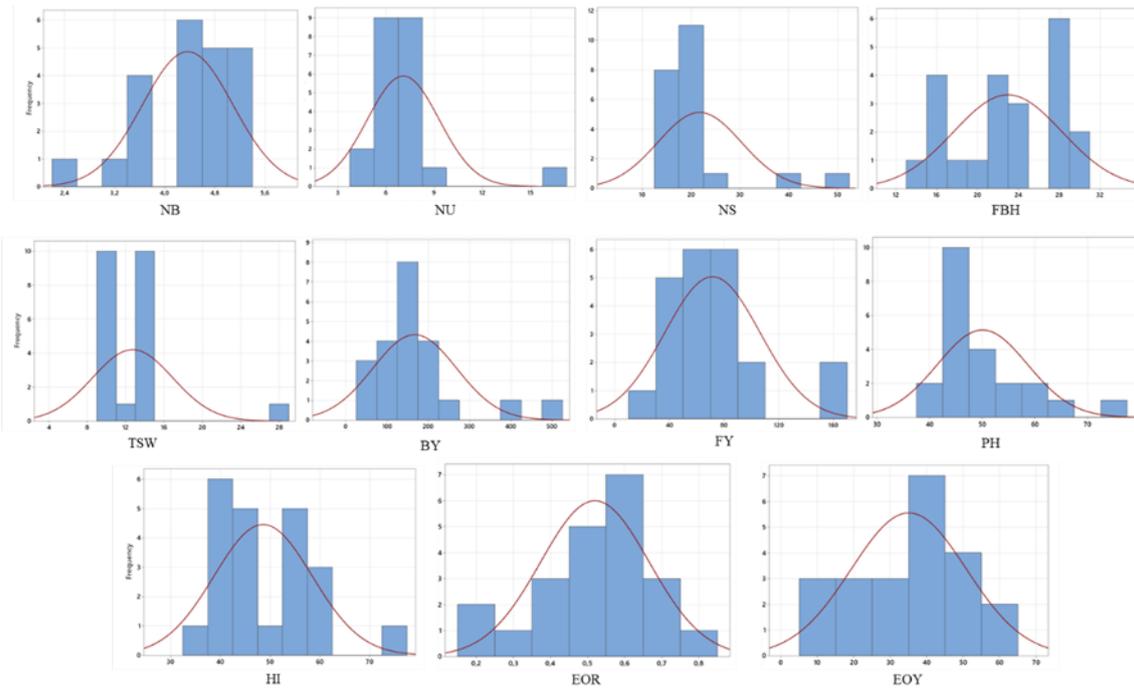


Figure 1. Distributions of all Data Related to the Examined Yield and Yield Components

Correlation indicates a linear relationship between two or more variables. The Pearson Product-Moment Correlation Coefficient takes values between -1 and +1. An $r = -1$ indicates a perfectly negative linear relationship, a $r = +1$ indicates a perfectly positive linear relationship, and an $r = 0$ indicates no relationship between the two variables. When interpreting the results, an r value of 0.01 - 0.29 represents a low level of relationship, 0.30 - 0.70 represents a moderate level of relationship, 0.71 - 0.99 represents a high level of relationship, and 1.00 represents a perfect relationship (Gogtay and Thatte, 2017).

In this study, there is a strong and positive correlation between the number of umbels, the number of seeds per umbel, biological yield, and fruit yield, and plant height. A strong and positive correlation was found between fruit yield and plant height, the number of umbels, the number of branches, and biological yield. A moderate effect of first branch height was observed on the essential oil content of the fruit, an important quality criterion in coriander. A positive but weak correlation was found between branch number and essential oil content. Apart from these two traits, all other traits (except EOY) had a negative effect on essential oil content (Figure 2).

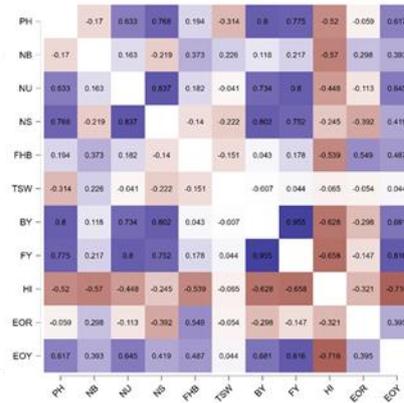
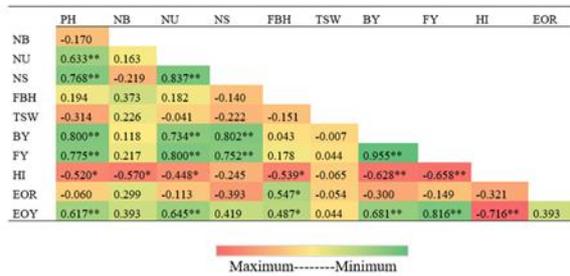


Figure 2. Binary Relationships Between Yield and Yield Components

Path analysis is a technique used in statistics to determine the direct and indirect effects of one variable on another (Streiner, 2005). It is widely used, particularly in plant breeding studies, to isolate factors affecting complex traits such as yield. In this study, direct and indirect effects of other variables on FY and EOR were determined by path analysis.

According to the path analysis results, the direct and indirect effects of variables on the formation of FY occurred at different levels. The findings indicate that the EOY and BY variables had the highest direct effect on FY. The direct effect of EOY was 0.4895 (48.26%), and that of BY was 0.4022 (41.07%), representing the main determinants of FY. In contrast, the direct effects of EOR (-0.2130; 36.95%) and HI (-0.0476; 5.79%) were found to be negative, negatively affecting FY (Table 2).

When indirect effects were examined, it was observed that many variables contributed to FY not directly, but through BY and EOY. For example, while NU (0.1196 direct; 14.37%) has a moderate positive direct effect, its main effect is BY (0.2952; 35.48%) and EOY (0.3159; 37.97%). Similarly, NS (-0.0140 direct; 1.77%) has a low negative direct effect, while its indirect effects are pronounced through BY (0.3225; 40.61%) and EOY (0.2051; 25.83%) (Table 2).

The FBH variable similarly exhibits a direct negative effect (-0.0182; 3.98%), while most of its effect on FY is indirectly mediated through EOY (0.2385; 52.16%). TSW (0.0287; 29.06%), on the other hand, provides a direct positive contribution, but its indirect effects are relatively limited. When the negative effects are examined, it is seen that the variables EOR (-0.2130 direct; 36.95%) and HI (-0.0476 direct; 5.79%) create significant indirect effects on FY, especially through EOY and BY, and these effects contribute negatively to the total. This indicates that these parameters may play a mitigating role in increasing FY (Table 2).

Table 2. Path Coefficients for Direct and Indirect Effects on FY Variables and Their Percentages Within the Correlation Coefficient

	PATH COEFFICIE NTS	%		PATH COEFFICIE NTS	%
PH			TSW		
Direct effect	0.0623	7.5794	Direct effect	0.0287	29.0632
Indirect effects			Indirect effects		
NB	-0.0003	0.0412	PH	-0.0196	19.8346
NU	0.0757	9.1972	NB	0.0005	0.4571
NS	-0.0108	1.3118	NU	-0.0049	4.9544
FBH	-0.0035	0.4289	NS	0.0031	3.1600
TSW	-0.0090	1.0930	FBH	0.0028	2.7934
BY	0.3217	39.1017	BY	-0.0030	3.0206
HI	0.0247	3.0062	HI	0.0031	3.1284
EOR	0.0126	1.5312	EOR	0.0114	11.6102
EOY	0.3020	36.7095	EOY	0.0217	21.9782
NB			BY	0.4022	41.0693
Direct effect	0.0020	0.5274	Direct effect		
Indirect effects			Indirect effects		
PH	-0.0106	2.7937	PH	0.0499	5.0923
NU	0.0195	5.1393	NB	0.0002	0.0240
NS	0.0031	0.8145	NU	0.0878	8.9641
FBH	-0.0068	1.7949	NS	-0.0113	1.1503
TSW	0.0065	1.7095	FBH	-0.0000	0.0791
BY	0.0473	12.4903	TSW	-0.0002	0.0217
HI	0.0271	7.1634	HI	0.0299	3.0502
EOR	-0.0635	16.7672	EOR	0.0635	6.4837
EOY	0.1923	50.7997	EOY	0.3336	34.0653
NU			HI		
Direct effect	0.1196	14.3711	Direct effect	-0.0476	5.7944
Indirect effects			Indirect effects		
PH	0.0394	4.7407	PH	-0.0324	3.9467
NB	0.0003	0.0390	NB	-0.0011	0.1386
NS	-0.0118	1.4126	NU	-0.0536	6.5278
FBH	-0.0033	0.3982	NS	0.0034	0.4200
TSW	-0.0012	0.1407	FBH	0.0098	1.1933
BY	0.2952	35.4792	TSW	-0.0019	0.2263
HI	0.0213	2.5629	BY	-0.2525	30.7492
EOR	0.0240	2.8888	EOR	0.0685	8.3413
EOY	0.3159	37.9668	EOY	-0.3503	42.6625
NS			EOR		
Direct effect	-0.0140	1.7694	Direct effect	-0.2130	36.9481
Indirect effects			Indirect effects		
PH	0.0479	6.0314	PH	-0.0037	0.6394
NB	-0.0004	0.0552	NB	0.0006	0.1032
NU	0.1000	12.6001	NU	-0.0135	2.3401
FBH	0.0026	0.3213	NS	0.0055	0.9543
TSW	-0.0064	0.8006	FBH	-0.0100	1.7313
BY	0.3225	40.6118	TSW	-0.0015	0.2671
HI	0.0117	1.4709	BY	-0.1199	20.7880
EOR	0.0834	10.5083	HI	0.0153	2.6529

EOY	0.2051	25.8311	EOY	0.1936	33.5755
FBH			EOY		
Direct effect	-0.0182	3.9793	Direct effect	0.4895	48.2622
Indirect effects			Indirect effects		
PH	0.0121	2.6444	PH	0.0385	3.7918
NB	0.0007	0.1631	NB	0.0000	0.0773
NU	0.0218	4.7628	NU	0.0772	7.6083
NS	0.0020	0.4308	NS	-0.0059	0.5803
TSW	-0.0043	0.9491	FBH	-0.0089	0.8738
BY	0.0171	3.7443	TSW	0.0013	0.1251
HI	0.0256	5.6040	BY	0.2741	27.0187
EOR	-0.1169	25.5653	HI	0.0340	3.3566
EOY	0.2385	52.1569	EOR	-0.0842	8.3059

Path analysis findings revealed the existence of both positive and negative direct and indirect effects on EOR. In particular, the EOY variable has the strongest direct positive effect on EOR with a coefficient of 1.3036 (36.21%). This is followed by negative direct effects of BY (-1.2019; 33.16%) and HI (-0.7161; 22.32%). FY (-0.6725; 17.56%) also has a significant negative direct effect. In contrast, NS (0.3460; 12.55%) has a positive and significant direct contribution to EOR (Table 3.).

When indirect effects are examined, it is observed that most of the variables indirectly affect EOR through BY, FY, and EOY. For example, although the direct effect of NU is found to be negative (-0.1248; 4.03%), its main contribution is through EOY (0.8413; 27.18%) and BY (-0.8823; 28.51%). Similarly, NS, in addition to its direct positive contribution, exhibits indirect effects, particularly through BY (-0.9637; 34.96%) and EOY (0.5462; 19.81%) (Table 3).

The FBH variable has a direct negative effect on EOR (-0.1927; 12.61%), and its strongest indirect contribution is through EOY (0.6350; 41.54%). The TSW variable, on the other hand, has a limited negative direct effect (-0.0431; 12.36%), while its indirect effects are particularly evident through NS (-0.0768; 22.03%) and EOY (0.0577; 16.57%) (Table 3).

Another variable with a significant negative effect on EOR is HI (-0.7161; 22.32%), while BY (0.7546; 23.52%) and EOY (-0.9329; 29.08%) stand out as significant mediators in its indirect effects. Similarly, FY (-0.6725; 17.56%) makes a direct negative contribution, but also has strong indirect positive effects through EOY (1.0642; 27.79%) (Table 3).

Table 3. Path Coefficients for Direct and Indirect Effects on FOR Variables and Their Percentages Within the Correlation Coefficient

	PATH COEFFICIENTS	%		PATH COEFFICIENTS	%
PH			TSW		
Direct effect	0.0593	1.8885	Direct effect	-0.0431	12.3592
Indirect effects			Indirect effects		
NB	0.0250	0.7951	PH	-0.0186	5.3377
NU	-0.0790	2.5158	NB	-0.0332	9.5366
NS	0.2658	8.4678	NU	0.0051	1.4638
FBH	-0.0374	1.1904	NS	-0.0768	22.0317
TSW	0.0135	0.4303	FBH	0.0292	8.3742
BY	-0.9613	30.6253	BY	0.0089	2.5552
FY	-0.5214	16.6103	FY	-0.0294	8.4479
HI	0.3722	11.8572	HI	0.0464	13.3270
EOY	0.8042	25.6193	EOY	0.0577	16.5667
NB			BY		
Direct effect	-0.1471	9.5395	Direct effect	-1.2019	33.1643
Indirect effects			Indirect effects		
PH	-0.0101	0.6518	PH	0.0474	1.3081
NU	-0.0203	1.3165	NB	-0.0173	0.4773
NS	-0.0759	4.9235	NU	-0.0916	2.5281
FBH	-0.0720	4.6653	NS	0.2775	7.6557
TSW	-0.0097	0.6303	FBH	-0.0082	0.2263
BY	-0.1413	9.1609	TSW	0.0003	0.0088
FY	-0.1458	9.4546	FY	-0.6420	17.7157
HI	0.4081	26.4583	HI	0.4495	12.4040
EOY	0.5121	33.1994	EOY	0.8883	24.5116
NU			FY		
Direct effect	-0.1248	4.0329	Direct effect	-0.6725	17.5612
Indirect effects			Indirect effects		
PH	0.0375	1.2118	PH	0.0460	1.2002
NB	-0.0239	0.7735	NB	-0.0319	0.8333
NS	0.2895	9.3545	NU	-0.0998	2.6063
FBH	-0.0351	1.1338	NS	0.2603	6.7984
TSW	0.0018	0.0568	FBH	-0.0344	0.8975
BY	-0.8823	28.5081	TSW	-0.0019	0.0492
FY	-0.5377	17.3746	BY	-1.1475	29.9668
HI	0.3210	10.3707	HI	0.4709	12.2972
EOY	0.8413	27.1834	EOY	1.0642	27.7899
NS			HI		
Direct effect	0.3460	12.5540	Direct effect	-0.7161	22.3220
Indirect effects			Indirect effects		
PH	0.0455	1.6518	PH	-0.0308	0.9605
NB	0.0323	1.1715	NB	0.0039	2.6142
NU	-0.1044	3.7884	NU	0.0559	1.7440
FBH	0.0270	0.9801	NS	-0.0849	2.6481
TSW	0.0096	0.3465	FBH	0.1038	3.2349
BY	-0.9637	34.9619	TSW	0.0028	0.0870
FY	-0.5059	18.3540	BY	0.7546	23.5225
HI	0.1758	6.3770	FY	0.4422	13.7862
EOY	0.5462	19.8149	EOY	-0.9329	29.0805

FBH			EOY		
Direct effect	-0.1927	12.6053	Direct effect	1.3036	36.2148
Indirect effects			Indirect effects		
PH	0.0115	0.7519	PH	0.0366	1.0158
NB	-0.0549	3.5946	NB	-0.0578	1.6057
NU	-0.0227	1.4869	NU	-0.0806	2.2377
NS	-0.0485	3.1737	NS	0.1450	4.0276
TSW	0.0065	0.4264	FBH	-0.0939	2.6076
BY	-0.0512	3.3469	TSW	-0.0019	0.0530
FY	-0.1199	7.8466	BY	-0.8190	22.7530
HI	0.3856	25.2258	FY	-0.5490	15.2501
EOY	0.6350	41.5418	HI	0.5124	14.2347

In a study conducted by Nagappa et al. (2017), a positive and significant relationship was found between fruit yield per plant, plant height, number of branches, number of umbels, and 1000-fruit weight of the coriander genotypes used and fruit yield. Similar findings were also expressed by Dyulgerow and Dyulgerova (2013), Nykolay et al. (2013), and Chauhan et al. (2019). In path analysis conducted in previous studies, it was observed that the highest positive and direct effects on fruit yield per plant were provided by the number of fruits per umbel, number of umbels per plant, and number of branches per plant (Chauhan et al., 2019). It has been reported that 1000-fruit weight directly contributes to fruit yield (Dyulgerov and Dyulgerova, 2013). It has been noted that biological yield and harvest index also contribute positively to fruit yield in coriander plants grown under drought conditions (Singh et al. 2015). These characteristics are important selection criteria in coriander breeding (Bajya et al., 2022).

The principal component graph created because of the Principal Component Analysis using all the data evaluated in this study is presented in Figure 3.

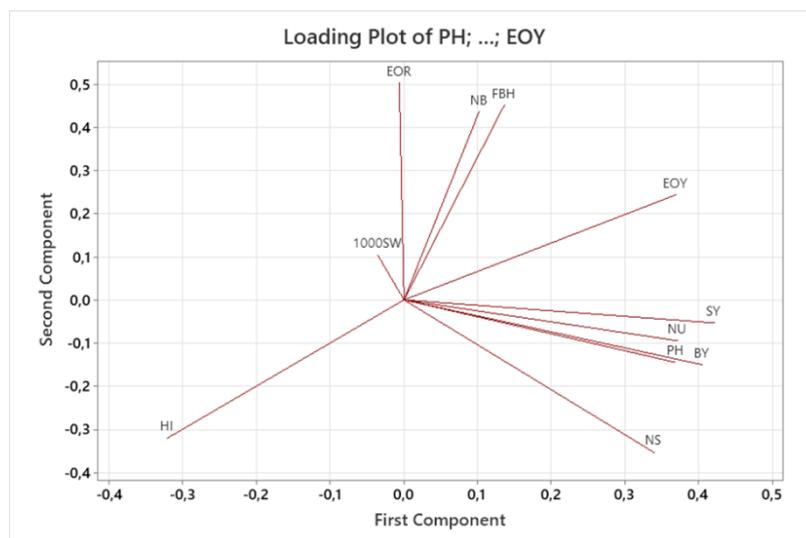


Figure 3. Principal Component Analysis: PH; NB; NU; NS; FBH; 1000SW; BY; SY; HI; EOR; EOY

3. CONCLUSION

The most important determinants of FY are EOY and BY, while the effects of other variables are largely indirectly transmitted through these two parameters. Variables such as NU, NS, and FBH, while having a low direct effect, provide significant indirect contributions through BY and EOY. In contrast, variables NB and PH were limited in terms of both direct and indirect effects and were not among the determining factors on FY.

The most important determinant of EOR is EOY, and considering both direct and indirect effects, this variable appears to play a central role in the model. However, the high negative direct effects of BY, HI, and FY are important factors in limiting EOR. The positive direct effect of NS suggests that supporting this parameter in the production process may be advantageous for EOR. While the direct effects of other variables (NB, NU, FBH, TSW) are more limited, their indirect effects are mostly mediated through EOY, BY, and FY.

REFERENCES

- Bajya, M., Kakralya, B.L., Bajaya, T., Choudhary, M. Correlation Coefficient of Different Morphophysiological Parameters Related to Yield in Coriander (*Coriandrum sativum* L.), The Pharma Innovation Journal, 11, 1257-1258, 2022.
- Baydar, B., *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayını, Isparta, 2009.
- Chauhan, J., Purohit, V.K., Paliwal, A. Correlation Study and Path Analysis of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) for Yield and Its Attributes in Mid Hills of Uttarakhand, Int J Pure App Biosci, 7, 113-118, 2019.
- Dyulgerov, N., Dyulgerova, B. Correlation and Path Coefficient Analysis of Productivity Elements in Coriander (*Coriandrum sativum* L.), Journal of Central European Agriculture, 14, 1512-1517, 2013.
- Gogtay, N.J., Thatte, U.M. Principles of Correlation Analysis, Journal of The Association of Physicians of India, 65,78-81, 2017.
- Kharat, P.N., Wadekar, V.D., Bhukan, A.S. Study of Genetic Diversity on Morphological Traits for Various Genotypes of Coriander (*Coriandrum sativum* L.), Plant Archives, 25, Supplement 2, 284-29, 2025.
- Mahleyuddin, N.N., Moshawih, S., Ming, L.C., Zulkifly, H.H., Kifli, N., Loy, M.J., Sarker, M.M.R., Al-Worafi, Y.M., Goh, B.H., Thuraisingam, S., Goh, H.P. *Coriandrum sativum* L.: A Review on Ethnopharmacology, Phytochemistry, and Cardiovascular Benefits, Molecules, 27, 209, 2021.

- Mandal, S., Mandal, M. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Essential Oil: Chemistry and Biological Activity, Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 5, 421-428, 2015.
- Nagappa, M.K., Giridhar, K., Dorajeeraom A.V.D. Correlation Between Yield and its Attributes in Coriander, PI Archives, 17,941-947, 2017.
- Ravi, R., Prakash, M., Bhat K.K. Aroma Characterization of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Oil Samples, Eur Food Res Technol, 225, 367-374, 2007.
- Shahwar, M.K., El-Ghorab, A.H., Anjum, F.M., Butt, M.S., Hussain, S, Nadeem, M. Characterization of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Seeds and Leaves: Volatile and Non-Volatile Extracts, Int J Food Prop, 15, 736-747, 2012.
- Singh, B., Singh, K.P., Sengupta, S.K. Correlation Analysis of Traits in Elite Genotypes of Coriander, SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 47,70-78, 2015.
- Streiner, D.L. Finding Our Way: An Introduction to Path Analysis, The Canadian Journal of Psychiatry-Research Methods in Psychiatry, 50, 115-122, 2005.
- Suwarti, M., Ghulamahdi, M., Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, T., Sulistyono, E., Azrai, M. Secondary Trait and Index Selection Determination for Maize Genotype Selection in Acidic Tidal Swamp Environment, Biodiversitas, 23, 4169-4179, 2022.
- Walubita, M., Bbebe, N., Tembo, L. Assessment of Pull- and Push Technologies in Managing *Spodoptera frugiperda* in Maize and Multivariate Analysis of Associated Variables, Asian J Res Crop Sci, 7, 30-37, 2022.

BAHÇE BİTKİLERİNDE SEL BASKINI STRESİNİN ETKİLERİ

Doç. Dr. Servet ARAS

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, servet.aras@yobu.edu.tr- 0000-0002-0347-6552

Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDONER ÇOBAN

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, gokce.coban@yobu.edu.tr- 0000-0002-0851-
8803

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, mujgan.guney@yobu.edu.tr- 0000-0001-5491-
1430

Doç. Dr. Murat GÜNEY

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, murat.guney@yobu.edu.tr- 0000-0003-2882-
8347

ÖZET

Sel baskını stresi, dünya çapında birçok bölgede bahçe bitkilerinin büyümesini, verimliliğini ve hayatta kalmasını sınırlayan önemli bir abiyotik etmendir. Kök bölgesindeki aşırı su, toprak havalanmasını azaltır, oksijen bulunabilirliğini kısıtlar ve besin alımını engelleyerek kök metabolizmasının bozulmasına ve büyümenin engellenmesine yol açar. Uzun süreli sel baskını genellikle fotosentezi baskılar, klorofil içeriğini azaltır ve çiçeklenmeyi, meyve tutumunu ve verim kalitesini olumsuz etkileyen hormonal dengesizliklere neden olur. Ayrıca, hipoksik koşullar altında etanol ve reaktif oksijen türleri gibi toksik bileşiklerin birikmesi, hücre hasarını daha da kötüleştirir. Duyarlılık derecesi türler ve çeşitler arasında değişiklik gösterir; bazı anaçlar ve genotipler, aerenkima oluşumu, tesadüfi kök gelişimi ve gelişmiş antioksidan aktivite gibi adaptif mekanizmalar yoluyla gelişmiş tolerans gösterir. Bahçe bitkilerinin sel baskınına karşı fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik tepkilerini anlamak, etkili yönetim uygulamaları geliştirmek için çok önemlidir. Bu derlemede, sel stresinin bahçe bitkileri üzerindeki etkileri özetlenmiş ve sel koşullarına dayanıklılık artırmak ve sürdürülebilir üretimi sağlamak için ıslah, anaç seçimi ve kültürel uygulamalar gibi potansiyel stratejiler tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aerenkima, hipoksiya stresi, sel baskını

1. GİRİŞ

Sel baskını, dünya çapında bahçe bitkileri üretimini etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. İklim değişikliği, aşırı yağış olaylarının sıklığını ve şiddetini artırarak birçok tarım alanında geçici veya uzun süreli toprak doygunluğuna yol açmıştır. Sel baskını stresi, su basması, su altında kalma veya kısmi kök bölgesi taşkını gibi çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir ve bitkiler üzerindeki etkileri, olayın süresine, yoğunluğuna ve zamanlamasına, bitki gelişim aşamalarına göre değişebilmektedir. Meyveler, sebzeler, süs bitkileri ve fidanlıklar da dahil olmak üzere bahçe bitkileri, sığ kök sistemleri ve kök solunumu için yüksek oksijen gereksinimleri nedeniyle genellikle sel baskınlarına karşı özellikle hassastır (Zhou vd., 2017; Umićević vd., 2024; Kaya vd., 2025). Sel baskınlarının neden olduğu toprak havalanmasının azalması, bitki metabolizmasını bozar, besin alımını sınırlar ve sonuç olarak büyümeyi, verimi ve kaliteyi düşürür (Zhang vd., 2023). Sel stresinin fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik etkilerini anlamak, bahçe bitkilerinde toleransı artırmayı amaçlayan etkili yönetim ve ıslah stratejileri geliştirmek için çok önemlidir.

2. SEL BASKINI STRESİNİN BAHÇE BİTKİLERİNE ETKİLERİ

Sel baskınının en önemli sonuçlarından biri, toprağa oksijen difüzyonunun azalmasıdır (Unger vd., 2009; Singh vd., 2018). Bitki kökleri hızla hipoksi veya anoksi yaşar ve oksidatif fosforilasyon yoluyla aerobik solunum ve enerji üretimi bozulur (Drew, 1997). Anaerobik koşullar altında, kökler anaerobik solunuma geçerek etanol, asetaldehit ve laktik asit gibi toksik metabolitlerin birikmesine neden olur. Bu metabolik değişim, ATP seviyelerinde hızlı bir düşüşe yol açarak iyon alımı, su emilimi ve kök uzaması gibi hayati kök süreçlerini etkiler. Su baskınları toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirir. Azalan oksijen miktarı, redoks reaksiyonlarını etkileyerek birçok besin maddesinin çözünürlüğünü ve bulunabilirliğini değiştirir (Good ve Muench, 1993).

Su altında kalan topraklar suya doymuş olsa da, su baskını stresi altındaki bitkiler sıklıkla fizyolojik kuraklık yaşarlar. Bu paradoks, kök fonksiyonunun zayıflaması ve su ve besin emiliminin kısıtlanması nedeniyle ortaya çıkar. Sonuç olarak, stoma kapanması aşırı su kaybını önlemek için koruyucu bir tepki olarak ortaya çıkar, ancak bu aynı zamanda CO₂ asimilasyonunu ve fotosentez aktivitesini de azaltır. Stoma iletkenliğindeki azalma, terlemenin azalmasına ve nihayetinde bitki büyümesinin kısıtlanmasına neden olur.

Sel kaynaklı hipoksi, süperoksit anyonları (O₂⁻), hidrojen peroksit (H₂O₂) ve hidroksil radikalleri (OH·) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesi nedeniyle oksidatif strese yol açar. ROS,

hücre zarlarına, proteinlere ve nükleik asitlere zarar vererek lipid peroksidasyonuna ve zar bütünlüğünün kaybına neden olur (Singh vd., 2025).

Etilen üretimi su baskımı altında artar ve tesadüfi kök oluşumu ve aerenkima gelişimi gibi adaptif tepkilerde önemli bir rol oynar. Ancak aşırı etilen, yaprak yaşlanmasını ve dökülmesini de teşvik edebilir. Absisik asit (ABA), oksinler ve sitokinler gibi diğer hormonlar, strese karşı morfolojik ve metabolik ayarlamaları koordine etmek için etilen sinyalizasyonu ile etkileşime girer.

3. MORFOLOJİK VE ANATOMİK ADAPTASYONLAR

Birçok bahçe bitkisi, sel baskınlarına, su altındaki gövdelerde veya toprak yüzeyinde kökler geliştirerek tepki verir. Bu köklerin gaz alışverişi kapasitesi daha yüksektir ve oksijeni azalmış derin toprak katmanlarına daha az bağımlıdır. Aerenkima, sürgünlerden köklere iç oksijen taşınmasını kolaylaştıran geniş hücreler arası hava boşlukları içeren özelleşmiş dokulardır. Aerenkima oluşumu, hipoksik koşullara önemli bir adaptasyon olup, bitkinin kök bölgesinde kısmi aerobik solunumu sürdürmesini sağlar (Kawase ve Whitmoyer, 1980). Birçok meyve ağacında ve sebze sel stresi altında aerenkima gelişiminin arttığı belirlenmiştir (Voosenek vd., 1999; Pimentel vd., 2014). Sel baskınına maruz kalan bitkilerde ayrıca gövde hipertrofisi, epidermal lentisel oluşumunda artış ve yaprak epinastisi (aşağı doğru eğilme) görülebilir. Bu morfolojik değişiklikler gaz değişimini artırır ve su basmış dokularda iç havalandırmanın korunmasına yardımcı olur.

4. SEL BASKINA KARŞI ÖNLEMLER

Yükseltilmiş yataklar, drenaj kanalları veya yeraltı drenajları inşa etmek su birikimini önlemeye yardımcı olabilir. Taşkın riski olan alanlar için iyi geçirgenliğe sahip kumlu veya iyi yapılandırılmış topraklar tercih edilir.

Sel baskınına dayanıklı anaçların kullanımı üzerine aşılı çeşidin dayanıklılığını arttırmada büyük bir önem arz etmektedir (Marchioretto vd., 2018; Xu vd., 2022).

Bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR), organik asitlerin ve hormonal uygulamaların (sitokin veya salisilik asit gibi) kullanımı, kök canlılığını ve antioksidan aktiviteyi iyileştirerek sel toleransını artırabilir (Islam vd., 2022; Maciag ve Krzyżanowska, 2025).

KAYNAKÇA

Drew, M. C. (1997). Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annual review of plant biology*, 48(1), 223-250.

- Good, A. G., & Muench, D. G. (1993). Long-term anaerobic metabolism in root tissue (metabolic products of pyruvate metabolism). *Plant Physiology*, 101(4), 1163-1168.
- Islam, M. R., Rahman, M. M., Mohi-Ud-Din, M., Akter, M., Zaman, E., Keya, S. S., ... & Hasanuzzaman, M. (2022). Cytokinin and gibberellic acid-mediated waterlogging tolerance of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *PeerJ*, 10, e12862.
- Kawase, M., & Whitmoyer, R. E. (1980). Aerenchyma development in waterlogged plants. *American Journal of Botany*, 67(1), 18-22.
- Kaya, E., Aras, S., & Karabıyık, Ş. (2025). Sodium Nitroprusside Alleviates Waterlogging Stress in Strawberry via Modulation of Spongy Parenchyma Structure. *Applied Fruit Science*, 67(4), 1-9.
- Maciag, T., & Krzyżanowska, D. M. (2025). Microbial Enhancement of Plant Tolerance to Waterlogging: Mechanisms and Interplay with Biological Control of Pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(16), 8034.
- Marchioretto, L. D. R., Rossi, A. D., Amaral, L. O. D., & Ribeiro, A. M. A. D. S. (2018). Tolerance of apple rootstocks to short-term waterlogging. *Ciência Rural*, 48(9), e20170940.
- Pimentel, P., Almada, R. D., Salvatierra, A., Toro, G., Arismendi, M. J., Pino, M. T., ... & Pinto, M. (2014). Physiological and morphological responses of *Prunus* species with different degree of tolerance to long-term root hypoxia. *Scientia horticultrae*, 180, 14-23.
- Singh, A. K., Vijai, P., & Srivastava, J. P. (2018). Plants under waterlogged conditions: an overview. *Engineering practices for Management of Soil Salinity*, 335-376.
- Singh, K., Abbas, S. H., Singh, S., Iqbal, N., Kocsy, G., Pérez-Pérez, J. M., & Riyazuddin, R. (2025). Deciphering the Plants' Response to Flood-Induced Hypoxia and Anoxia at the Molecular Level. In *Plant Flooding: Sensitivity and Tolerance Mechanisms* (pp. 93-112). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Umićević, S., Kukavica, B., Maksimović, I., Gašić, U., Milutinović, M., Antić, M., & Mišić, D. (2024). Stress response in tomato as influenced by repeated waterlogging. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1331281.
- Unger, I. M., Motavalli, P. P., & Muzika, R. M. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(1-2), 105-110.
- Voesenek, L. A. C. J., Armstrong, W., Bögemann, G. M., Colmer, T. D., & McDonald, M. P. (1999). A lack of aerenchyma and high rates of radial oxygen loss from the root base contribute to the waterlogging intolerance of *Brassica napus*. *Functional Plant Biology*, 26(1), 87-93.
- Xu, F., Cai, H., Zhang, X., Su, M., Zhou, H., Li, X., ... & Ye, Z. (2022). Comparison of waterlogging tolerance of three peach rootstock seedlings based on physiological, anatomical and ultra-structural changes. *Horticultrae*, 8(8), 720.



- Zhang, B., Sun, M., Liu, W., Lian, M., Yang, S., Peng, F., & Xiao, Y. (2023). Waterlogging resistance and evaluation of physiological mechanism of three peach (*Prunus persica*) rootstocks. *Protoplasma*, 260(5), 1375-1388.
- Zhou, C., Bai, T., Wang, Y., Wu, T., Zhang, X., Xu, X., & Han, Z. (2017). Morphological and enzymatic responses to waterlogging in three *Prunus* species. *Scientia Horticulturae*, 221, 62-67.

AMİNOASİTLERİN BAHÇE BİTKİLERİNDE KULLANIMI

Doç. Dr. Servet ARAS

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, servet.aras@yobu.edu.tr- 0000-0002-0347-6552

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, mujgan.guney@yobu.edu.tr- 0000-0001-5491-1430

Doç. Dr. Murat GÜNEY

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, murat.guney@yobu.edu.tr- 0000-0003-2882-8347

Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDONER ÇOBAN

Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, gokce.coban@yobu.edu.tr- 0000-0002-0851-8803

ÖZET

Amino asitler, bahçe bitkilerinin büyümesinde, gelişmesinde ve stres toleransında önemli bir rol oynamaktadır. Proteinlerin temel yapı taşları, fitohormonların ve sekonder metabolitlerin öncüleri ve fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin düzenleyicileri olarak işlev görürler. Amino asitlerin dışarıda uygulanması, hem optimum hem de stresli koşullar altında bitki performansını iyileştirmek için sürdürülebilir bir yaklaşım olarak önemli ilgi görmektedir. Çok sayıda çalışma, amino asit takviyesinin besin alımını, fotosentez verimliliğini, çiçeklenmeyi, meyve tutumunu ve genel verim kalitesini artırdığını göstermiştir. Ayrıca, amino asitler ozmoprotektan, antioksidan ve sinyal molekülleri olarak görev yaparak kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklıklar gibi abiyotik streslerin olumsuz etkilerini azaltır. Kullanımları ayrıca, çevre dostu tarım uygulamalarıyla uyumlu olarak kimyasal gübre girdilerinin azaltılmasına da katkıda bulunur. Bu derleme, amino asitlerin fizyolojik işlevlerini, bahçe bitkilerinde uygulama biçimlerini ve sürdürülebilir ve dayanıklı bahçe üretim sistemlerinin geliştirilmesindeki potansiyel rollerini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Amino asit, hormon, protein, stres

1. GİRİŞ

Amino asitler, proteinlerin temel yapı taşları olup tüm biyolojik süreçlerde vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. α -karbon olarak bilinen merkezi bir karbon atomuna bağlı bir amino grubu (–

NH₂) ve bir karboksil grubu (–COOH) içeren organik bileşiklerdir. Bu α-karbon aynı zamanda bir hidrojen atomuna ve her bir amino asidin kimyasal yapısını ve işlevselliğini belirleyen değişken bir yan zincire (R grubu) bağlıdır. Yan zincirlerdeki çeşitlilik, çeşitli dizilerde birleşerek proteinleri oluşturan 20 standart amino asidin ortaya çıkmasını sağlamakta ve canlı organizmalarda bulunan muazzam yapısal ve işlevsel çeşitliliğe katkıda bulunmaktadır. Proteinlerdeki yapısal rollerinin yanı sıra, amino asitler hormonlar, enzimler, pigmentler, nükleotidler ve sekonder metabolitler gibi çok sayıda biyomolekülün öncüsü olarak görev yapmaktadır. Bitkilerde azot metabolizmasında kritik ara maddeler olup biyotik ve abiyotik streslere verilen tepkilerde doğrudan rol almaktadırlar. Bu işlevleri nedeniyle amino asitlerin anlaşılması biyokimya, fizyoloji, beslenme ve tarım bilimleri gibi alanların merkezinde yer almaktadır (Maeda ve Dudareva, 2012; Bocso ve Butnariu, 2022; O Moustafa, ve Mohamed, 2022).

2. AMİNO ASİTLERİN YAPISI VE SINIFLANDIRILMASI

Tüm amino asitler genel bir moleküler formüle sahiptir (Jones, 1975; Galeazzi vd., 2004; Gil vd., 2007; Baqir vd., 2019): NH₂–CHR–COOH

Amino grubu (–NH₂): Protonları kabul ederek baz görevi görür.

Karboksil grubu (–COOH): Protonları bağışlayarak asit görevi görür.

R grubu: Amino asidin kimyasal kimliğini ve özelliklerini tanımlar.

R grubunun yapısına bağlı olarak amino asitler polar veya polar olmayan, asidik veya bazik ve hidrofobik veya hidrofilik olabilir.

Yan Zincir Özelliklerine Göre Sınıflandırma

Nonpolar (Hidrofobik) Amino Asitler:

Glisin, alanin, valin, lösin, izolösin, metiyonin, fenilalanin, triptofan ve prolini içerir. Bu amino asitler genellikle proteinlerin iç kısımlarında bulunur ve hidrofobik etkileşimler yoluyla yapılarını stabilize eder.

Polar (Yüksüz) Amino Asitler:

Serin, treonin, sistein, tirozin, asparagin ve glutamin içerir. Bunlar su veya diğer moleküllerle hidrojen bağları oluşturabilir ve bu da onları enzimatik aktivite ve protein çözünürlüğü için kritik hale getirir.

Pozitif Yüklü (Bazik) Amino Asitler:

Lizin, arginin ve histidin, ek amino grupları içerir ve bu da onları fizyolojik pH'ta pozitif yüklü hale getirir.

Negatif Yüklü (Asidik) Amino Asitler:

Aspartik asit ve glutamik asit, fizyolojik koşullar altında negatif yük taşıyan ek karboksil grupları içerir.

3. BİTKİLERDE AMİNO ASİT BİYOSENTEZİ

Bitkiler, topraktan emilen nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) gibi inorganik azot kaynaklarından tüm amino asitleri sentezleme konusunda olağanüstü bir yeteneğe sahiptir. Bu iyonlar, esas olarak, diğer amino asit biyosentetik yollarının merkezi azot vericileri olan glutamin ve glutamat üreten glutamin sentetaz-glutamat sentaz (GS-GOGAT) yoluyla organik formlara dahil edilir (Pittard ve Yang, 2008; Tzin ve Galili, 2010; Walker vd., 2021).

Amino asit sentezi için karbon iskeletleri, glikoliz, sitrik asit döngüsü ve pentoz fosfat yolunun ara ürünlerinden türetilir. Örneğin:

Serin, glisin ve sistein, 3-fosfogliserrattan (glikoliz) kaynaklanır.

Aspartat, asparagin, lizin, metiyonin, treonin ve izolösin, oksaloasetattan (TCA döngüsü) kaynaklanır.

Glutamat, glutamin, prolin ve arginin, α -ketoglutarattan üretilir.

Fenilalanin, tirozin ve triptofan, şikimat yoluyla fosfoenolpiruvat ve eritroz-4-fosfattan üretilir.

4. BAHÇE BİTKİLERİNDE AMİNO ASİT UYGULAMALARI

Bahçe bitkilerinde amino asit uygulamaları özellikle son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Her amino asidin bitkilerde farklı etkileri bulunmakta olup farklı yolların sentezini sağlayabilmektedir. Bazı gübrelere takviye olarak da kullanılabilir. Özellikle akademik çalışmalarda stres faktörlerine karşı kullanıldığında çok başarılı sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Kuraklık stresine maruz bırakılmış turp bitkisine fenilalanin amino asidi uygulandığında strese karşı bitkilerin dayanıklılıklarının arttığını, bitki büyümesini geliştirdiğini, fotosentezi ve antioksidan savunma mekanizmalarını iyileştirdiği belirlenmiştir (Ramzan vd., 2023). Fesleğene L-fenilalanin uygulanması sonucunda fenolik bileşiklerin sentezinin arttığı bildirilmiştir (Koca ve Karaman, 2015). Almas vd. (2021) fenilalanin uygulamasının domates bitkilerinin tuz stresine karşı dayanıklılık sağladığını rapor etmiştir.

Bahçe bitkilerinde stres faktörlerine karşı diğer amino asitlerin de uygulamaları bulunmaktadır. Domates bitkilerine triptofan uygulanması ile tuz stresine karşı dayanıklılık artmıştır (Gull vd., 2023).

Glisin amino asidinin bahçe bitkilerini birçok strese karşı koruduğu belirlenmiştir (Shan vd., 2016; Wang vd., 2023; A Abd El-wahab ve Shakweer, 2024). Prolin amino asidinin bahçe bitkilerinde streslere karşı kullanıldığı birçok çalışma da bulunmaktadır (Vives-Peris vd., 2017; Tonhati vd., 2020).

Amino asitlerin stres etmenlerine karşı olumlu etkilerinin yanında bitki gelişimini de tetiklemeleri büyük önem arz etmektedir. Triptofan amino asidinin birçok bahçe bitkilerinde köklenmeyi arttırdığı bildirilmiştir (Justamante vd., 2022). Ayrıca triptofan uygulamasının elma ağaçlarında kalsiyum elementinin ağaç bünyesinde dağılımına katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Wójcik vd., 2016). Amino asit uygulamalarının meyve kalitesini arttırdığını sergileyen çalışmalar da mevcuttur (Ahmed vd., 2017; Khedr, 2018). Dışarıda glisin betain uygulanması ile kiraz ağaçlarının fizyolojik durumunun iyileştiği belirlenmiştir (Serapicos vd., 2022).

Amino asitler, doğadaki en hayati biyomolekül sınıflarından birini temsil eder ve inorganik besinler ile karmaşık yaşam süreçleri arasındaki boşluğu doldurur. Proteinlerin yapısal ve işlevsel temelini oluşturur, metabolik yolları düzenler ve sayısız biyolojik olarak aktif molekülün sentezinde temel ara maddeler olarak görev yaparlar. Bitkilerde amino asitler, azot metabolizması ve stres adaptasyonunda merkezi bir rol oynar ve bu da onları sürdürülebilir tarım bağlamında vazgeçilmez kılar.

Küresel tarım daha çevre dostu ve verimli üretim sistemlerine doğru ilerlerken, amino asit bazlı gübreler ve biyostimülanlar büyük bir umut vaat etmektedir. Besin kullanım verimliliğini arttırmaktan bitkilerin abiyotik strese karşı toleransını arttırmaya kadar çok yönlü faydaları, onları modern bahçecilik ve agronomik uygulamalar için paha biçilmez araçlar haline getirmektedir.

KAYNAKÇA

- A Abd El-wahab, M., & H Shakweer, N. (2024). Potential impacts of amino acids, putrescine and glycine betaine on productivity and fruit attributes of “Le-Conte” pear trees grown under water scarcity stress. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development*, 38(1), 15-35.
- Ahmed, F. K., Hamed, N. A., Magdy, A. I., & ELazazy, A. M. (2017). Effect of tryptophan and some nutrient elements foliar application on yield and fruit quality of Washington Navel orange. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 9(2), 86-97.
- Almas, H. I., -un-Nisa, Z., Anwar, S., Kausar, A., Farhat, F., Munawar, M., & Khalizadieh, R. (2021). Exogenous application of methionine and phenylalanine confers salinity tolerance in tomato by concerted regulation of metabolites and antioxidants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 3051-3064.
- Baqir, H. A., Zeboon, N. H., & Al-Behadili, A. A. J. (2019). The role and importance of amino acids within plants: A review. *Plant Archives*, 19(2), 1402-1410.
- Bocso, N. S., & Butnariu, M. (2022). The biological role of primary and secondary plants metabolites. *Journal of Nutrition and Food Processing*, 5(3), 1-7.

- Galeazzi, R., Mobbili, G., & Orena, M. (2004). Modeling and synthesis of conformationally restricted amino acids. *Current Organic Chemistry*, 8(18), 1799-1829.
- Gil, A., Simon, S., Rodríguez-Santiago, L., Bertrán, J., & Sodupe, M. (2007). Influence of the side chain in the structure and fragmentation of amino acids radical cations. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 3(6), 2210-2220.
- Gull, M., Sajid, Z. A., & Aftab, F. (2023). Alleviation of Salt Stress in *Solanum tuberosum* L. by Exogenous Application of Indoleacetic acid and l-Tryptophan. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(5), 3257-3273.
- Jones, D. D. (1975). Amino acid properties and side-chain orientation in proteins: a cross correlation approach. *Journal of theoretical biology*, 50(1), 167-183.
- Justamante, M. S., Mhimdi, M., Molina-Pérez, M., Albacete, A., Moreno, M. Á., Mataix, I., & Pérez-Pérez, J. M. (2022). Effects of auxin (Indole-3-butyric Acid) on adventitious root formation in peach-based *Prunus* rootstocks. *Plants*, 11(7), 913.
- Khedr, E. (2018). Improving productivity, quality and antioxidant capacity of Le-Conte pear fruits using foliar tryptophan, arginine and salicylic applications. *Egyptian Journal of Horticulture*, 45(1), 93-103.
- Koca, N., & Karaman, Ş. (2015). The effects of plant growth regulators and L-phenylalanine on phenolic compounds of sweet basil. *Food chemistry*, 166, 515-521.
- Maeda, H., & Dudareva, N. (2012). The shikimate pathway and aromatic amino acid biosynthesis in plants. *Annual review of plant biology*, 63(1), 73-105.
- O Moustafa, G., & Mohamed, F. H. (2022). The chemistry of Amino Acid and Peptides via Solution-Phase-Peptide Synthesis. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(1), 439-457.
- Pittard, J., & Yang, J. (2008). Biosynthesis of the aromatic amino acids. *EcoSal Plus*, 3(1), 10-1128.
- Ramzan, T., Shahbaz, M., Maqsood, M. F., Zulfiqar, U., Saman, R. U., Lili, N., ... & Haider, F. U. (2023). Phenylalanine supply alleviates the drought stress in mustard (*Brassica campestris*) by modulating plant growth, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 201, 107828.
- Serapicos, M., Afonso, S., Gonçalves, B., & Silva, A. P. (2022). Exogenous application of glycine betaine on sweet cherry tree (*Prunus avium* L.): Effects on tree physiology and leaf properties. *Plants*, 11(24), 3470.
- Shan, T., Jin, P., Zhang, Y., Huang, Y., Wang, X., & Zheng, Y. (2016). Exogenous glycine betaine treatment enhances chilling tolerance of peach fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 104-110.
- Tonhati, R., Mello, S. C., Momesso, P., & Pedroso, R. M. (2020). L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. *Scientia Horticulturae*, 268, 109370.

- Tzin, V., & Galili, G. (2010). New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. *Molecular plant*, 3(6), 956-972.
- Vives-Peris, V., Gómez-Cadenas, A., & Pérez-Clemente, R. M. (2017). Citrus plants exude proline and phytohormones under abiotic stress conditions. *Plant cell reports*, 36(12), 1971-1984.
- Walker, R. P., Chen, Z. H., & Famiani, F. (2021). Gluconeogenesis in plants: a key interface between organic acid/amino acid/lipid and sugar metabolism. *Molecules*, 26(17), 5129.
- Wang, W., Ling, Y., Deng, L., Yao, S., & Zeng, K. (2023). Effect of L-cysteine treatment to induce postharvest disease resistance of *Monilinia fructicola* in plum fruits and the possible mechanisms involved. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 191, 105367.
- Wójcik, P., Skorupińska, A., & Gubbuk, H. (2016). Impacts of pre-and postbloom sprays of tryptophan on calcium distribution within 'Red Jonaprince' apple trees and on fruit quality. *HortScience*, 51(12), 1511-1516.

THERAPEUTIC ROLE AND ORGAN-LEVEL EFFECTS OF MORIN: LIVER, KIDNEY, OVARY, AND BRAIN

Dr. Öğr. Üyesi Serpil AYGÖRMEZ

Department of Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars,
Türkiye, serpilaygormez@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-5675-5096

Prof. Dr. Mushap KURU

Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas
University, Kars, Türkiye, mushapkuru@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0003-4409-251X

Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR

Department of Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Aksaray University, Aksaray,
Türkiye, fmkandemir@aksaray.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8490-2479

ABSTRACT

Flavonoids, bioactive polyphenolic compounds found in plants, vegetables, and fruits, are phytochemicals. They possess medicinal properties such as antioxidants and anticancer properties. Regular consumption of flavonoids can reduce the progression of many diseases in human health, and this is due to the flavonoid's bioavailability. Morin (3,5,7,2',4'-pentahydroxyflavone), a natural flavone isolated from the fruits, branches, stems, and leaves of many plants, is effective in ameliorating the effects of various human diseases and toxic substances. This healing effect is demonstrated by its free radical scavenging, anti-inflammatory, antitumoral, antibacterial, antioxidant, and neuroprotective properties. Numerous studies demonstrate that morin has potent therapeutic effects with minimal toxicity. It exhibits therapeutic properties by reducing the adverse side effects of many drugs. Its mechanism of action includes reducing oxidative stress and inflammation and regulating signaling pathways such as apoptosis and autophagy. All these effects suggest that it can be used in combination with other drugs or alone to prevent many human pathologies. This review discusses the pharmacological/biological significance of the flavonoid morin and recent advances investigating its effects on liver, kidney, ovary, and brain tissue, and identifies it as a therapeutic agent.

Keywords: Morin, Liver, Kidney, Ovary, Brain

1. INTRODUCTION

Throughout human history, medicinal plants have been used in traditional and complementary medicine for the prevention and treatment of various diseases due to their accessibility, availability, and affordability, and this is associated with their non-toxic side effects (Ajiboye et al., 2024; Othman et al., 2025). Natural products found in nature are chemical substances with biological and pharmacological activity (Sun et al., 2021; Chen et al., 2023). Flavonoids found in vegetables and fruits are various natural phenolic compounds (Fan et al., 2022).

Flavonoids, which are connected by two benzene rings and three carbon chains, are a series of compounds with C₆-C₃-C₆ (Chen et al., 2022). They are synthesized from malonyl residues and hydroxycinnamic acid through a series of reactions, including flavonols, isoflavones, chalcones, anthocyanidins, flavones, flavanones, and flavan-3-ols (Xie et al., 2022; Sharma et al., 2024; Ramos et al., 2025). Flavonoids, which are commonly found in other compounds, can interact with other compounds such as carbohydrates, fats, proteins, etc., when consumed together in the diet (Chen et al., 2022). Their bioactivity, metabolism, and bioavailability depend on the number of hydroxyl groups, structural composition, and functional groups (Hu et al., 2025; Ramos et al., 2025). Flavonoids have a wide range of benefits for human health, including antioxidant, antiviral, antibacterial, anticancer, antiinflammatory, free radical scavenging, neuroprotective, and antidiabetic properties (Chen et al., 2022; Fan et al., 2022; Xie et al., 2022). By eliminating free radicals, flavonoids reduce oxidative stress (Ajiyoye et al., 2024; Sharma et al., 2024). Due to these properties, they are promising agents for the treatment of various diseases and exist in over 10.000 structural varieties (Cao et al., 2022; Chow et al., 2025).

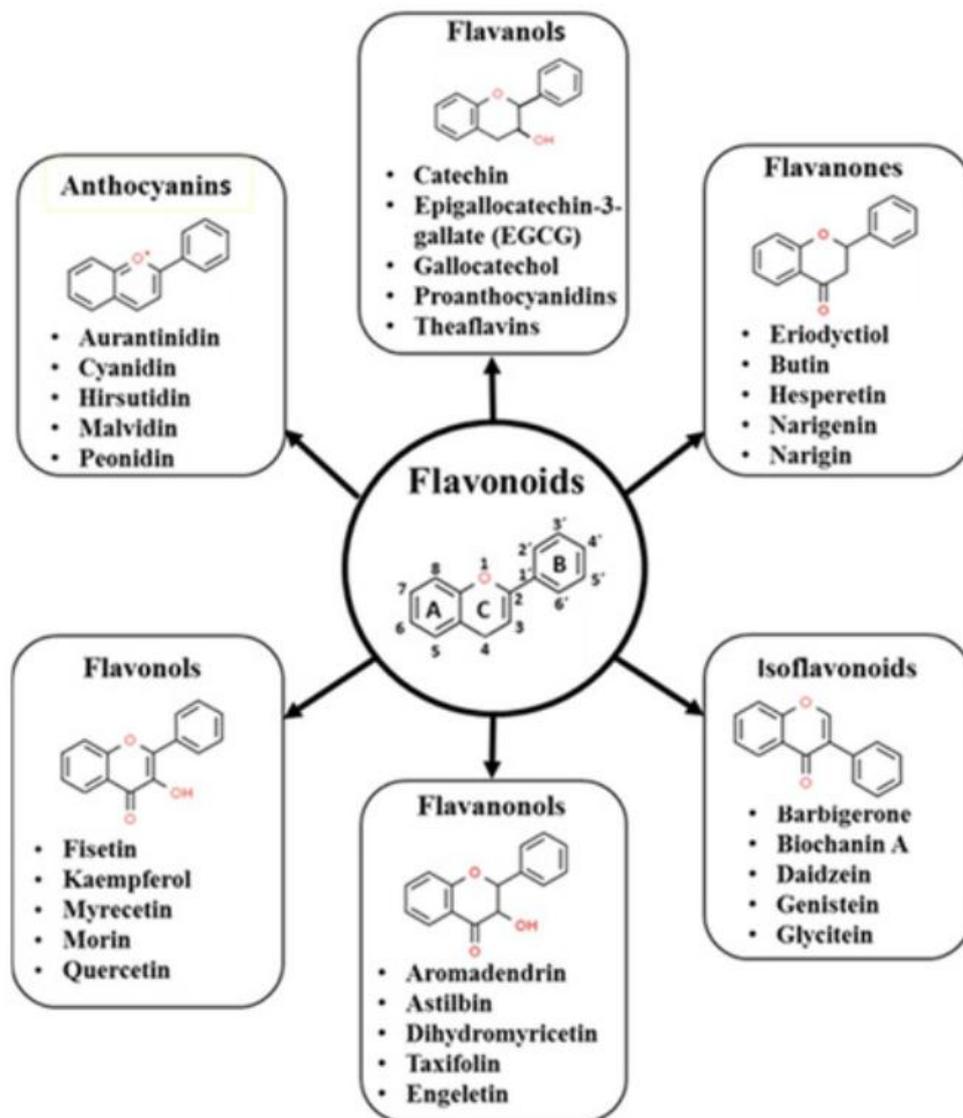


Figure 1: Basic flavonoids (Martinez-Coria et al., 2023).

2. MORIN, A NATURAL FLAVONOID

Morin (IUPAC name 2-(2,4-dihydroxyphenyl)-3,5,7-trihydroxychromen-4-one; C₁₅H₁₀O₇), obtained from plants of the *Moraceae* family, is a natural flavonol (Mohammadi et al., 2021). It is commonly found in the peel and leaves of vegetables, fruits such as apples (*Malus domestica*) and guavas (*Psidium guajava*), and on the outer surface of almond shells (*Prunus dulcis*) and onions (*Allium cepa*) (Ijaz et al., 2021; Vijay et al., 2025).

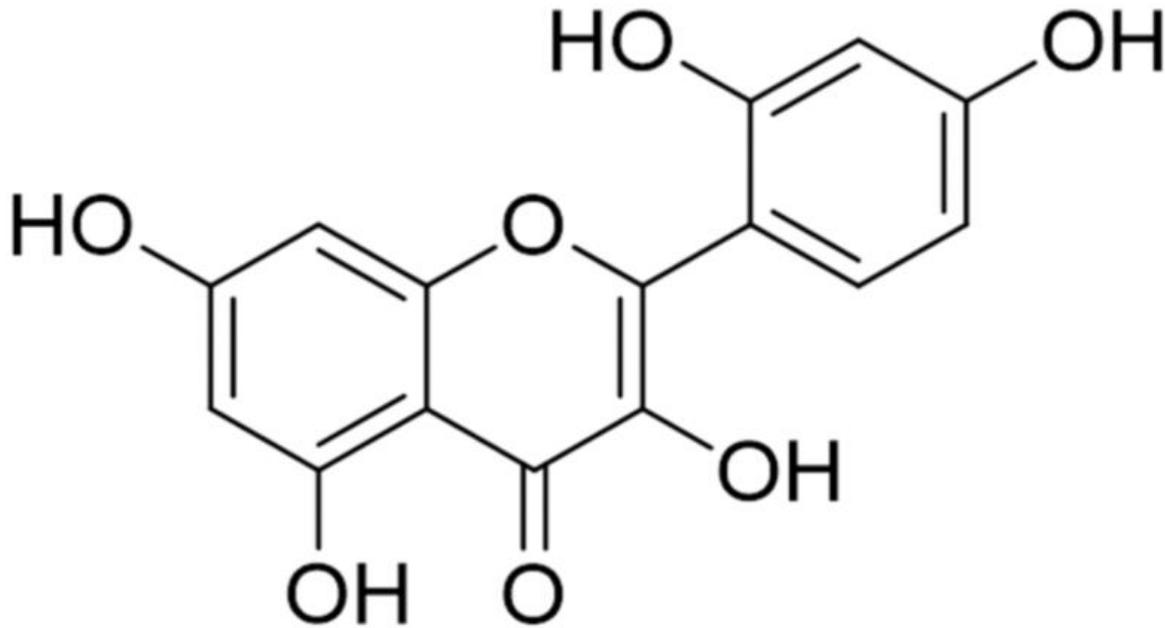


Figure 2: Chemical structure of Morin (Khamchai et al. 2022).

Morin, which has a bitter taste and is widely used in medicine, is soluble in alkaline solutions, methanol, and water (Balaga et al., 2023; Banaeeyeh et al., 2025). Morin taken in the diet undergoes hydroxylation in the large intestine to convert to different aglycone forms for easy absorption, in addition to being found in the intestine in large amounts of sulfated, glycosylated, and methylated forms. After dietary intake, it passes into serum samples within approximately 120 minutes (Rajput et al., 2021). Its toxic effect is negligible, and it is well tolerated with long-term use (Mohammadi et al., 2021; Shafey et al., 2022). It is known as a natural food additive due to its pharmacological effects, including antioxidant, chemoprotective, neuroprotective, antiinflammatory, antidiabetic, and anticancer properties (Ben-Azu et al., 2021; Shafey et al., 2022; Khademi et al., 2025).

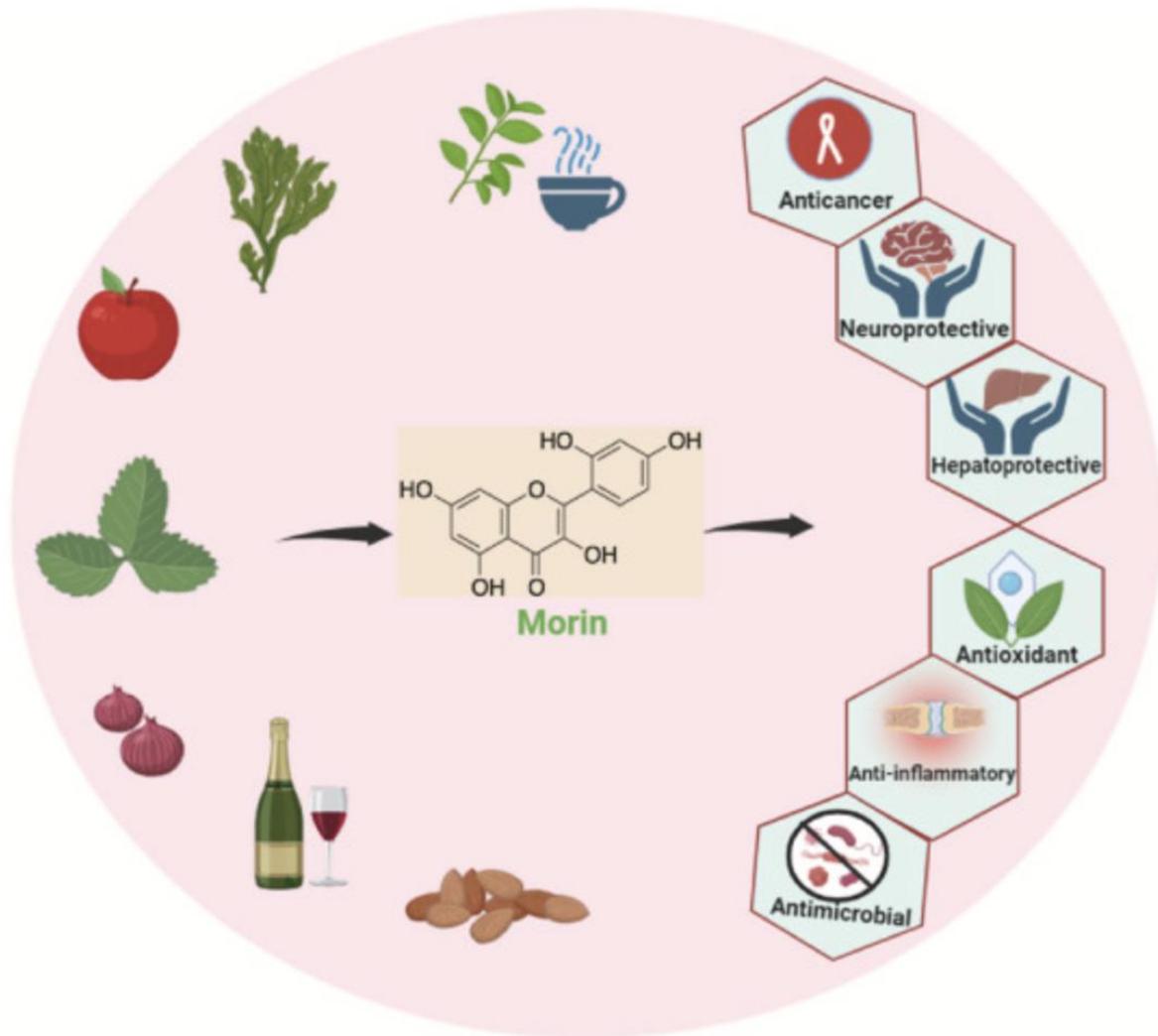


Figure 3: Natural sources and pharmacological activities of morin (Vijay et al., 2025).

2.1. The Effect of Morin on the Liver

The liver, the body's largest organ, plays an important role in maintaining homeostasis and metabolizing foreign compounds (Bhakuni et al., 2017). There are regenerative mechanisms that ensure adequate liver function (Michalopoulos et al., 2021). Therefore, hepatoprotective drugs are a medical necessity for the development of treatments (Bhakuni et al., 2017). Studies have reported that Morin improves liver tissue by showing antioxidant, antiinflammatory and antiapoptotic properties against toxic agents such as ifosfamide (Özdemir et al., 2022), di-(2-ethylhexyl) phthalic acid (Kumar et al., 2024), rifampicin (Rana et al., 2024), diclofenac (Akaras et al., 2025), acrylamide (Kandemir et al., 2020), methotrexate (Kızıllı et al., 2023), paracetamol (Kamal et al., 2022), doxorubicin (Kuzu et al., 2019).

2.2. The Effect of Morin on the Kidney

The kidneys, a vital organ of the body, have many physiological functions, such as maintaining extracellular fluid volume and regulating and maintaining body fluids. If the kidneys are seriously damaged, many diseases become untreatable (Maurya et al., 2018; Radi 2019). Plants are known as a source of nutrition and health not only for humans but also for animals. These natural products constitute the main source of drugs used for therapeutic purposes (Dollah et

al., 2013). Morin has shown therapeutic effects in kidney tissue against doxorubicin (Kuzu et al., 2019), cisplatin (Wei et al., 2015), 5-fluorouracil (Althagafy et al., 2025), lipopolysaccharides (Mahmoud et al., 2024), and ifosfamide (Çomaklı et al., 2022).

2.3. The Effect of Morin on the Ovary

The ovaries in women produce certain hormones that regulate the functions of reproductive tissues such as the fallopian tubes and uterus (Stocco et al., 2008). Environmental toxins, particularly endocrine-disrupting chemicals in women, cause reproductive health problems such as abnormal sex steroid hormone levels, premature ovary failure, and infertility in women's ovaries (Patel et al., 2015). Reactive oxygen species are produced in the ovaries, and various sources of neutrophils and macrophages are also present (Sugino et al., 2005). Reactive oxygen species, which play a role in regulating ovulation, oocyte growth, and physiological processes, cause disruptive effects in ovary tissue (Yan et al., 2022). Morin has been reported to exhibit a protective effect in ovary cancer (Xu and Zhang 2019; Nowak et al., 2020).

2.4. The Effect of Morin on the Brain

The brain, which accounts for 20% of the body's metabolic activity, consumes more oxygen than other tissues (Qi et al., 2022). Brain tissue, which uses various reactive species, is sensitive to oxidative stress due to its specific metabolic activity (Lee et al., 2020; Jelinek et al., 2021). Oxidative stress, which negatively affects normal brain function, is associated with increased reactive oxygen species and decreased endogenous antioxidants (Jelinek et al., 2021). Drug development for brain diseases reduces its effects, such as lipid peroxidation in cell membranes and oxidative damage to proteins (Dong 2018; Qi et al., 2022). It has been reported that Morin has a healing effect due to its pharmacological activities in toxicities of 62 mg/kg potassium bromate (Aygörmez et al., 2025), 8 mg/kg methamphetamine (Anyanwu et al., 2025), Alzheimer's disease (Mohammadi et al., 2021), 500 mg/kg ifosfamide (Çelik et al., 2020), 20 mg/kg lead acetate (Thangarajan et al., 2018).

3. CONCLUSION

Studies have shown that Morin has health benefits for both animals and humans. It also exhibits protective effects such as hepatoprotective, ovary cancer, and neuroprotective properties. Due to these effects, Morin is anticipated to be used in the development of new drugs and as a dietary supplement. Thus, Morin's therapeutic effects, supported by scientific studies, can be recommended as a therapeutic drug.

4. REFERENCES

Ajiboye, B. O., Famusiwa, C. D., Falode, J. A., Ojelabi, A. O., Mistura, A. N., Ogunbiyi, D. O., Jeje, T. O., Akinlolu, O. S., Ogedengbe, O. O., Ojo, O. A. Ocimum gratissimum L. leaf flavonoid-rich extracts reduced the expression of p53 and VCAM in streptozotocin-induced cardiomyopathy rats, *Phytomedicine Plus*, 4(2), 100548, 2024.

Akaras, N., Şimşek, H., Gür, C., Küçükler, S., İleritürk, M., Kandemir, F. M. Morin Attenuates Diclofenac-Induced Hepatocellular Death Injury via Nrf2/Ho-1/NQO1, Beclin-1/LC3A/LC3B and p53/Bax/Caspase Signalling Pathways, *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 39(7), e70372, 2025.

Althagafy, H. S., Hassanein, E. H. Morin mitigates 5-fluorouracil-induced nephrotoxicity by activating Nrf2/HO-1 and FXR, and suppressing ERK/VCAM-1 and NF-κB pathways, *International Immunopharmacology*, 148, 114092, 2025.

Anyanwu, G. E., Umeano, A. V., Ojiakor, V. O., Katchy, A. U., Anyanwu, C. N., Fakorede, S. Morin Mitigates Methamphetamine-Induced Neurotoxicity: Effects on Motor and Cognitive Function, *Journal of Experimental Pharmacology*, 307-321, 2025.

Aygörmez, S., Küçükler, S., Gür, C., Akaras, N., Maraşlı, Ş., Kandemir, F. M. Investigation of the effects of morin on potassium bromate-induced brain damage in rats via different pathways with biochemical and histopathological methods, *Food and Chemical Toxicology*, 115466, 2025.

Balaga, V. K. R., Pradhan, A., Thapa, R., Patel, N., Mishra, R., Singla, N. Morin: a comprehensive review on its versatile biological activity and associated therapeutic potential in treating cancers, *Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine*, 7, 100264, 2023.

Banaeeyeh, S., Razavi, B. M., Hosseinzadeh, H. Neuroprotective effects of morin against cadmium-and arsenic-induced cell damage in PC12 neurons, *Biological Trace Element Research*, 203(6), 3272-3286, 2025.

Ben-Azu, B., Aderibigbe, A. O., Ajayi, A. M., Omogbiya, I. A., Uruaka, C. I., Umukoro, S., Iwalewa, E. O. Evaluation of the role of monoaminergic and nonmonoaminergic systems in the psychotropic effects of morin in mice: an interaction study with receptor blockers, *Nutrire*, 46(1), 8, 2021.

Bhakuni, G. S., Bedi, O., Bariwal, J., Kumar, P. Hepatoprotective activity of morin and its semi-synthetic derivatives against alcohol induced hepatotoxicity in rats, *Indian J Physiol Pharmacol*, 61(2), 175-190, 2017.

Cao, Y. L., Lin, J. H., Hammes, H. P., Zhang, C. Flavonoids in treatment of chronic kidney disease, *Molecules*, 27(7), 2365, 2022.

Chen, L., Cao, H., Huang, Q., Xiao, J., Teng, H. Absorption, metabolism and bioavailability of flavonoids: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(28), 7730-7742, 2022.

Chen, J., Zhong, K., Qin, S., Jing, Y., Liu, S., Li, D., Peng, C. Astragaloside: A food-origin flavonoid with therapeutic effect for multiple diseases, *Frontiers in Pharmacology*, 14, 1265960, 2023.

Chow, J., Yang, X., Hu, J., Yu, Q., Zhong, Y., Hu, X., Liang, J., Zhu, C., Yan, S., Li, H., Wang, T., Wang, Z., Ma, G. Gastrointestinal absorption and its regulation of hawthorn leaves flavonoids, *Scientific Reports*, 15(1), 658, 2025.

Çelik, H., Kucukler, S., Çomaklı, S., Özdemir, S., Caglayan, C., Yardım, A., Kandemir, F. M. Morin attenuates ifosfamide-induced neurotoxicity in rats via suppression of oxidative stress, neuroinflammation and neuronal apoptosis, *Neurotoxicology*, 76, 126-137, 2020.

Çomaklı, S., Kandemir, F. M., Küçükler, S., Özdemir, S. Morin mitigates ifosfamide induced nephrotoxicity by regulation of NF-kappaB/p53 and Bcl-2 expression, *Biotechnic & Histochemistry*, 97(6), 423-432, 2022.

Dollah, M. A., Parhizkar, S., Izwan, M. Effect of *Nigella sativa* on the kidney function in rats, *Avicenna journal of phytomedicine*, 3(2), 152, 2013.

Dong, X. Current strategies for brain drug delivery, *Theranostics*, 8(6), 1481, 2018.

Fan, X., Fan, Z., Yang, Z., Huang, T., Tong, Y., Yang, D., Mao, X., Yang, M. Flavonoids-Natural gifts to promote health and longevity, *International journal of molecular sciences*, 23(4), 2176, 2022.

Hu, L., Luo, Y., Yang, J., Cheng, C. Botanical flavonoids: efficacy, absorption, metabolism and advanced pharmaceutical technology for improving bioavailability, *Molecules*, 30(5), 1184, 2025.

Ijaz, M. U., Shahzadi, S., Zahra, Z., Samad, A., Ehsan, N., Afsar, T., Almajwal, A., Al-disi, D., Abulmeaty, M., Razak, S. Ameliorative effects of morin on cisplatin-induced toxicity in renal mitochondria isolated from rats, *Journal of King Saud University-Science*, 33(8), 101655, 2021.

Jelinek, M., Jurajda, M., Duris, K. Oxidative stress in the brain: basic concepts and treatment strategies in stroke, *Antioxidants*, 10(12), 1886, 2021.

Kamal, G. F., Nasr, M. Y., Hussein, M. A., Abdel-Aziz, A., Fayed, A. M. Morin: a promising nutraceutical therapy for modulation of the NF- κ B/NOX-2/IL-6/HO-1 signaling pathways in paracetamol-induced liver toxicity, *Biomedical Research and Therapy*, 9(9), 5260-5271, 2022.

Kandemir, F. M., Yıldırım, S., Kucukler, S., Caglayan, C., Darendelioğlu, E., Dortbudak, M. B. Protective effects of morin against acrylamide-induced hepatotoxicity and nephrotoxicity: A multi-biomarker approach, *Food and chemical toxicology*, 138, 111190, 2020.

Khademi, R., Mirzaei, A., Mirzaei, A., Edjlali, F. R., Askari, V. R., Baradaran Rahimi, V. Morin, as a natural flavonoid, provides promising influences against cardiovascular diseases. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 1-18, 2025.

Khamchai, S., Chumboatong, W., Hata, J., Tocharus, C., Suksamrarn, A., Tocharus, J. Morin attenuated cerebral ischemia/reperfusion injury through promoting angiogenesis mediated by angiopoietin-1-Tie-2 axis and Wnt/ β -catenin pathway, *Neurotoxicity Research*, 40(1), 14-25, 2022.

Kızıl, H. E., Caglayan, C., Darendelioğlu, E., Ayna, A., Gür, C., Kandemir, F. M., Küçükler, S. Morin ameliorates methotrexate-induced hepatotoxicity via targeting Nrf2/HO-1 and Bax/Bcl2/Caspase-3 signaling pathways, *Molecular Biology Reports*, 50(4), 3479-3488, 2023.

Kumar, V., Kumar, R., Gurusubramanian, G., Rathore, S. S., Roy, V. K. Morin hydrate ameliorates Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) induced hepatotoxicity in a mouse model via TNF- α and NF- κ B signaling, *Biotech*, 14(7), 181, 2024.

Kuzu, M., Yıldırım, S., Kandemir, F. M., Küçükler, S., Çağlayan, C., Türk, E., Dörtbudak, M. B. Protective effect of morin on doxorubicin-induced hepatorenal toxicity in rats, *Chemico-biological interactions*, 308, 89-100, 2019.

Lee, K. H., Cha, M., Lee, B. H. Neuroprotective effect of antioxidants in the brain, *International journal of molecular sciences*, 21(19), 7152, 2020.

Mahmoud, A. A., Fares, N. H. Effect of Morin on Lipopolysaccharides-Induced Acute Kidney Injury in Mice, *Egyptian Journal of Histology*, 47(2), 758-767, 2024.

Martinez-Coria, H., Arrieta-Cruz, I., Gutiérrez-Juárez, R., López-Valdés, H. E. Anti-inflammatory effects of flavonoids in common neurological disorders associated with aging, *International journal of molecular sciences*, 24(5), 4297, 2023.

Maurya, H., Kumar, T., Kumar, S. Anatomical and physiological similarities of kidney in different experimental animals used for basic studies, *Journal of Clinical & Experimental Nephrology*, 3(09), 2018.

Michalopoulos, G. K., Bhushan, B. Liver regeneration: biological and pathological mechanisms and implications, *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 18(1), 40-55, 2021.

Mohammadi, N., Asle-Rousta, M., Rahnama, M., Amini, R. Morin attenuates memory deficits in a rat model of Alzheimer's disease by ameliorating oxidative stress and neuroinflammation, *European Journal of Pharmacology*, 910, 174506, 2021.

Nowak, E., Sypniewski, D., Bednarek, I. Morin exerts anti-metastatic, anti-proliferative and anti-adhesive effect in ovarian cancer cells: An in vitro studies, *Molecular Biology Reports*, 47(3), 1965-1978, 2020.

Qi, X., Jha, S. K., Jha, N. K., Dewanjee, S., Dey, A., Deka, R., Pritam, P., Ramgopal, K., Liu, W., Hou, K. Antioxidants in brain tumors: current therapeutic significance and future prospects, *Molecular Cancer*, 21(1), 204, 2022.

Othman, F. A., Mat Zin, A. A., Zakaria, Y., Nik Salleh, N. N. H., Mohd Satar, A., Tan, S. C. Pre-clinical acute oral toxicity and subacute neurotoxicity risk assessments on sprague dawley rats treated with single dose or repeated doses of flavonoid-enriched fraction extracted from *Oroxylum indicum* leaves, *Drug and Chemical Toxicology*, 1-17, 2025.

Özdemir, S., Kucukler, S., Çomaklı, S., Kandemir, F. M. The protective effect of Morin against ifosfamide-induced acute liver injury in rats associated with the inhibition of DNA damage and apoptosis, *Drug and Chemical Toxicology*, 45(3), 1308-1317, 2022.

Patel, S., Zhou, C., Rattan, S., Flaws, J. A. Effects of endocrine-disrupting chemicals on the ovary, *Biology of reproduction*, 93(1), 20-21, 2015.

Radi, Z. A. Kidney pathophysiology, toxicology, and drug-induced injury in drug development, *International journal of toxicology*, 38(3), 215-227, 2019.

Rajput, S. A., Wang, X. Q., Yan, H. C. Morin hydrate: A comprehensive review on novel natural dietary bioactive compound with versatile biological and pharmacological potential, *Biomedicine & pharmacotherapy*, 138, 111511, 2021.

Ramos, S. Protective effects of flavonoids in diabetic cardiomyopathy: A comprehensive review on the mechanistic insights, *Molecular Nutrition & Food Research*, e70038, 2025.

Rana, H. K., Singh, A. K., Pandey, A. K. Therapeutic potential of morin hydrate against rifampicin induced hepato and renotoxicity in albino wistar rats: modulation of organ function, oxidative stress and inflammatory response, *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 39(2), 197-206, 2024.

Shafey, G. M., Rashed, E. R., Zaki, H. F., Attia, A. S., El-Ghazaly, M. A. Molecular mechanisms involved in the effects of morin in experimental hepatic encephalopathy, *Biofactors*, 48(5), 1166-1178, 2022.

Sharma, A., Wairkar, S. Flavonoids for treating pulmonary fibrosis: present status and future prospects, *Phytotherapy Research*, 38(9), 4406-4423, 2024.

Stocco, C. Aromatase expression in the ovary: hormonal and molecular regulation, *Steroids*, 73(5), 473-487, 2008.

Sugino, N. Reactive oxygen species in ovarian physiology, *Reproductive medicine and biology*, 4(1), 31-44, 2005.

Sun, J., Wang, Z., Chen, L., Sun, G. Hypolipidemic effects and preliminary mechanism of chrysanthemum flavonoids, its main components luteolin and luteoloside in hyperlipidemia rats, *Antioxidants*, 10(8), 1309, 2021.

Thangarajan, S., Vedagiri, A., Somasundaram, S., Sakthimanogaran, R., Murugesan, M. Neuroprotective effect of morin on lead acetate-induced apoptosis by preventing cytochrome c translocation via regulation of Bax/Bcl-2 ratio, *Neurotoxicology and teratology*, 66, 35-45, 2018.

Vijay, V., Perumal, M. K. Morin, a Polypharmacological Marvel: Unveiling its versatility and recent advances in bioavailability enhancement, *Food Bioscience*, 106104, 2025.

Yan, F., Zhao, Q., Li, Y., Zheng, Z., Kong, X., Shu, C., Liu, Y., Shi, Y. The role of oxidative stress in ovarian aging: a review, *Journal of ovarian research*, 15(1), 100, 2022.

Xie, L., Deng, Z., Zhang, J., Dong, H., Wang, W., Xing, B., Liu, X. Comparison of flavonoid O-glycoside, C-glycoside and their aglycones on antioxidant capacity and metabolism during in vitro digestion and in vivo, *Foods*, 11(6), 882, 2022.

Xu, M., Zhang, Y. Morin inhibits ovarian cancer growth through the inhibition of NF- κ B signaling pathway, *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents*, 19(18), 2243-2250, 2019.

Wei, Z., He, X., Kou, J., Wang, J., Chen, L., Yao, M., Zhou, E., Fu, Y., Guo, C., Yang, Z. Renoprotective mechanisms of morin in cisplatin-induced kidney injury, *International Immunopharmacology*, 28(1), 500-506, 2015.

THE EFFECT OF LATE FROST DAMAGE ON FLOWERING, FRUIT SET, AND FLORAL TISSUE DAMAGE IN DIFFERENT APPLE CULTIVARS

Osman KURUDERE

University of Selçuk, Institute of Science, Konya, Türkiye,
o.kurudere843@gmail.com 0009-0001-7188-3395

Ali YILMAZ

University of Selçuk, Institute of Science, Konya, Türkiye,
aylmz1863@gmail.com 0009-0007-4478-5435

Ebru BAŞKIR

University of Selçuk, Institute of Science, Konya, Türkiye,
ebrubaskir02@gmail.com 0009-0006-4916-4972

Fatma Nur ÖZCAN

University of Selçuk, Institute of Science, Konya, Türkiye,
nur_ozcan2@icloud.com 0009-0005-1139-0950

Muzaffer İPEK

University of Selçuk, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Konya, Türkiye,
mipek@selcuk.edu.tr, 0000-0002-5773-7236

ABSTRACT

This study investigated the effects of late spring frost on flowering, fruit set, and frost damage in seven apple cultivars (Jeromine, Rose Glow, Galaval, Royal Gala, Fuji Zhen Aztec, Granny Smith Challenger, and Golden Reinders) grown in Konya Province, Central Anatolia Region, Turkey. The experiment was conducted in April 2025 at Selçuk University in Konya (1006 m above sea level). Hourly temperature data were collected to investigate frost events during the critical flowering period between April 10 and 12. Flowering, fruiting, and frost-related losses were documented for each cultivar, and cellular damage was assessed by microscopic examination of flower tissues.

Results indicated significant differences in fruit set and frost sensitivity between cultivars. Royal Gala (33.33 fruits/plant) and Rose Glow (19.67 fruits/plant) had the largest fruit set despite frost occurrences, but Jeromine (0.33 fruits/plant) suffered nearly total yield loss. Frost loss rates ranged from 80.66% in Rose Glow to 99.77% in Jeromine, indicating significant differences in frost tolerance among cultivars. The results indicate that flowering time, genetic diversity, and physiological responses are essential factors in assessing cultivar resilience to late spring frosts. In conclusion, late spring frosts substantially impact fruit production in apple orchards, with cultivar-specific responses influencing output. Rose Glow and Golden Reinders had superior frost

tolerance, but early-flowering Jeromine cultivars showed increased sensitivity, which illustrates the importance of adaptive orchard management strategies in the context of climate change.

Key words: *Malus domestica*, Frost tolerance, Fruit set, Cultivar resilience, Frost damage

1. INTRODUCTION

Recent years have seen a rise in the frequency of mild winter days and cold spring days. This diminishes yields in orchards and, notably, elevates the incidence of late spring frosts. Spring frosts adversely affect blossoms and immature fruit on trees, resulting in production losses (Rodrigo, 2000). Winter frosts are typically more detrimental to trees and restrict agricultural production, whereas spring frosts result in considerable yield reductions, especially in orchards (Byers and Marini, 1994).

When temperatures fall below 0°C, ice crystals develop in the flower structures. The crystals traverse the cell membranes toward the nucleus, resulting in cellular apoptosis. The dark staining of the ovary following thawing in apple blossoms is regarded as the initial indicator of frost damage, and this discoloration may subsequently extend to the style and ovary (Eccel et al., 2009). Fruits originating from impaired blooms exhibit flaws such as frost rings, adversely affecting marketability and producer revenue. Likewise, rust deformation during fruit growth adversely affects customer preferences (Ginzberg et al., 2016).

Despite numerous research examining the impact of spring frosts on apples (Blanke, 2011; Hoffmann and Rath, 2013), the implications for fruit quality remain inadequately comprehended. Warrington et al. (1999) indicated that low temperatures in the initial 40 days post-flowering can diminish fruit size. Moreover, climate change has been demonstrated to influence apple quality, resulting in alterations in taste and texture. Global warming has resulted in a reduction of organic acid concentration, fruit firmness, and water content in the pit, but in certain instances, soluble solids content has increased (Sugiura et al., 2013).

Due to their extensive ecological tolerance, apples may be cultivated from sea level to 2,700 meters, positioning them as a species with significant adaptability to climate change (Tharaga et al., 2021). Nonetheless, climatic change elevates the risk of frost damage in apple agriculture. Elevated sensitivity to temperature variations, especially during crucial phenological stages like budding, flowering, and fruit development, presents a substantial risk to output. Elevated temperatures advance phenological events, heightening the susceptibility of apple plants to late spring frosts (Pfleiderer et al., 2019).

The decrease in necessary chilling hours in winter leads to premature bud break and heightened susceptibility to abrupt temperature declines (Unterberger et al., 2018). The risk of frost fluctuates based on geography and altitude variations: it escalates in low-altitude areas; however, these effects may be somewhat alleviated at higher elevations (Ma et al., 2018; Zohner et al., 2020).

Frost tolerance differs markedly across apple cultivars. Certain cultivars demonstrate superior physiological adaptation to cold circumstances, leading to increased survival rates of flower buds (Szalay et al., 2022). This study examined the impact of spring frost on flower quantity, fruit set, and frost damage in the apple cultivars Jeromine, Rose Glow, Galaval, Royal Gala, Ginger Gold, Fuji Zhen Aztec, Granny Smith Challenger, and Golden Reinders.

2. MATERIAL AND METHODS

This study was conducted in April 2025 at the Faculty of Agriculture of Selçuk University, Konya, located in Konya Province, Türkiye, at 38°05'N, 32°36'E, and at an altitude of 1006 m above sea level. In the present study, temperature and climate parameters were measured and recorded hourly using a portable automatic weather station (Davis Vantage Pro 2) located at the center of the study area. The rootstocks and cultivars used in the study are listed in Table 1.

Table 1. Rootstocks and cultivar used in the study

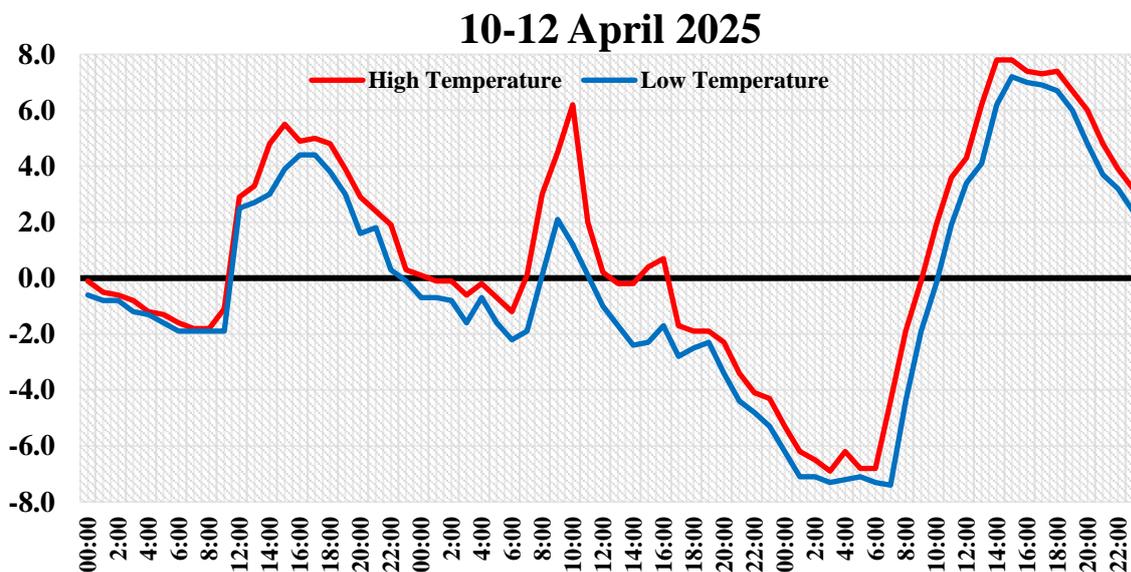
ROOTSTOCK	CULTIVAR
M9	Jeromine
	Rose Glow
	Galaval
	Royal Gala
	Fuji Zhen Aztec
	Granny Smith Challenger
	Ginger Gold
	Golden Reinders

2.1. METHOD

2.1.1. Determination of Late Frosts in the Experimental Plot

Hourly temperature records from an apple orchard in Konya (Figure 1), Türkiye, between 10–12 April 2025 clearly demonstrate severe frost episodes and extended subzero exposure. On 10 April, temperatures dropped to -1.8°C during the early morning hours but recovered to 5.5°C by mid-afternoon. On 11 April, although values reached 6.2°C in the morning, they rapidly declined and remained below 0°C for nearly 15 consecutive hours, reaching -5.3°C at midnight. The most critical period occurred on 12 April, when temperatures fell to -7.4°C at 07:00 and persisted below freezing for more than 10 hours before recovering to 7.8°C in the afternoon. Such prolonged exposure to subzero conditions, combined with sharp diurnal fluctuations, poses a high risk of frost injury in apple orchards, particularly during flowering, and highlights the vulnerability of orchards in continental regions such as Konya, Türkiye.

Figure 1. Temperature of the apple orchard on 10-12 April 2025



2.1.2. Determining Flower Number

In the study, a certain number of flower clusters were systematically selected on apple trees of each cultivar. The total number of flowers in the selected clusters was determined.

2.1.3. Determining Fruit Number

The total number of flowers in selected flower groups and the number of flowers that turned into fruit after frost events were counted and recorded.

2.1.4. Determining Fruit Set Rate

The fruit set rate for each cultivar was calculated by comparing the number of fruits determined on frost days with the corresponding number of flowers.

The fruit set rate was calculated as the percentage of flowers that developed into fruit compared to the number of flowers, using the following formula:

$$\text{Fruit Set Rate (\%)} = \text{Number of Fruits} / \text{Number of Flowers} \times 100$$

2.1.5. Determining Frost Loss

Frost loss was calculated as the percentage of fruit lost after frost events for each cultivar. The calculation was made using the following formula

$$\text{Frost Loss (\%)} = 100 - \text{Fruit Set (\%)}$$

2.1.6. Microscopic Observation of Frost Damage

Damage to the stamens and pistils of apple flower buds following frost damage was observed using a stereoscopic microscope.

3. RESULT AND DISCUSSION

Inconsistencies are evident between the quantity of flowers in apple cultivars and the successful fruit set under frost conditions. Although there is an abundance of blooms, proper fertilization and fruit development may be impeded by certain essential features and distinctive factors (Szalay et al., 2022). Apple blossoms are essential for effective fruit production. Studies demonstrate that the enhanced cold resilience of apple flower buds during dormancy results from a hardening process (Szalay et al., 2022).

Regarding flower quantity, Royal Gala (216.00) exhibits superior productivity potential, whilst Golden Reinders (80.33) and Granny Smith Challenger (90.33) demonstrate diminished values. Nevertheless, an increased number of blooms under frost conditions does not automatically correlate with a larger fruit set (Table 2). The timing and length of frost occurrences might affect pollinator activity and subsequent fertilization, hence influencing flower survival and overall production (Zhu et al., 2021). A mild frost can substantially harm developing flowers and result in considerable output decreases, regardless of the original flower count (Žnidaršič et al., 2023).

Regarding fruit quantity, Royal Gala (33.33) and Rose Glow (19.67) outperformed all other cultivars. Rose Glow demonstrated a notably high fruit set despite experiencing severe frosts (Table 2). Conversely, Jeromine (0.33), yielded negligible fruit, a consequence of the extended frost conditions, which plummeted to -5.3°C on the night of April 11 and -7.4°C on the morning of April 12. Similar to our study, some peach, apricot, and cherry cultivars were exposed to temperatures of -10°C and -15°C for 6-8 hours in February and March to determine their frost resistance. In this study, it was determined that all peach buds, 88.8% of apricot buds and 96% of cherry buds were damaged at -10°C (Aslantaş et al., 2010).

Temperatures below around -4°C can significantly harm flower buds, diminishing fruit set and adversely affecting orchard production (Liu et al., 2008). The temperatures documented on these days, specifically, elevate the probability of severe frost during late flowering, adversely affecting

cultivars that lack tolerance to such climatic disturbances (Nidzgorska-Lencewicz et al., 2024). In cooler temperatures, the flower bud growth phase may be prolonged, potentially disrupting synchronization with optimal pollination periods. Cultivars that flower later are at an increased danger of frost if blooming comes prematurely in the season. This may result in increased floral mortality rates and, therefore, diminished fruit yields.

Significant differences in fruit set rates among apple cultivars can be predominantly ascribed to the impact of frost damage. The elevated fruit set rates recorded in Rose Glow (19.34%) and Golden Reinders (19.09%), contrasted with the diminished rates in cultivars like Jeromine (0.23%), underscore the significance of frost tolerance in influencing total output (Table 2). Numerous essential elements might adversely affect fruit set in apples. Frost episodes during crucial flowering periods might adversely impact flower buds due to their sensitivity to low temperatures. Flower buds subjected to temperatures beneath their frost tolerance limits may incur structural damage, resulting in cell death and compromised fertilization (Szalay et al., 2022).

The varying frost resistance among apple cultivars elucidates the superior performance of Rose Glow and Golden Reinders compared to Jeromine. Early-flowering cultivars exhibit heightened vulnerability to spring frosts, resulting in suboptimal fruit set, as evidenced in Jeromine. Conversely, late-flowering cultivars, such as Rose Glow and Golden Reinders, might evade significant frost occurrences. The cumulative impact of frost damage might result in enduring repercussions on tree vitality and subsequent yield. Flowers that endure the initial frost may lack the physiological resilience necessary for effective fruit development due to persistent stress (Liu et al., 2018). Future environmental conditions may exacerbate the issues faced by trees and redirect nutrient allocation towards fruit development instead of supporting growth. The influence of frost on fruit set in apple trees is complex; factors such as flower bud sensitivity, cultivar-specific physiological responses, flowering timing, pollination dynamics, and the cumulative impacts of frost significantly affect production.

The notable variations in frost loss rates among apple cultivars can mostly be attributed to frost resistance and physiological reactions to cold temperatures. For instance, Rose Glow (80.66%) and Golden Reinders (80.91%) demonstrated comparatively lesser losses, whereas Jeromine (99.77%) encountered significantly higher losses (Table 2). These disparities illustrate the intricate interplay between cultivar traits and environmental stressors associated with frost occurrences.

Table 2. Flower Number, Fruit Number, Fruit Set and Frost Loss Rates in Apple Cultivar

Cultivar	Number of Flowers (number/plant)	Number of Fruits (number/plant)	Fruit Set Rate (%)	Frost Loss (%)
Rose Glow	101,67	19,67	19,34	80,66
Golden Reinders	80,33	15,33	19,09	80,91
Royal Gala	216,00	33,33	15,43	84,57
Galaval	133,67	19,00	14,21	85,79
Fuji Zhen Aztec	91,00	7,67	8,42	91,58
Granny Smith Challenger	90,33	5,67	6,27	93,73
Jeromine	141,67	0,33	0,23	99,77

Frost tolerance denotes a cultivar's capacity to endure low temperatures without incurring damage. In winter, apple trees experience a hardening-off process that enhances their cold tolerance. As temperatures increase in spring, thawing commences, and frost resistance progressively diminishes. Cultivars like Rose Glow and Golden Reinders probably possess elevated thawing thresholds and can retain a certain level of frost tolerance despite temperature variations. Conversely, cultivars with lower frost tolerance, like as Jeromine demonstrate swift thawing and incur substantial losses when subjected to late frosts.

Physiological reactions to freezing additionally affect cultivar performance. Cultivars with elevated antioxidant levels are more resilient to frost-induced oxidative damage. Cultivars exhibiting poor peroxidase activity sustain reduced post-frost damage. Jeromine however, certainly demonstrate elevated peroxidase activity and are more prone to cellular damage.

The correlation between frost occurrences and flowering timing is essential in assessing damage severity. Early-flowering cultivars are more susceptible to late spring frosts; hence, types like as Jeromine suffer considerable losses, but late-flowering cultivars like Rose Glow may evade detrimental frost occurrences.

Genetic variations influence the frost tolerance levels of different cultivars. Certain kinds may exhibit special adaptations to cold stress or include genetic characteristics that enhance cold resistance. These genetic advantages improve intracellular stability and boost survival during frostvents. In summary, the varying frost loss rates among apple cultivars can be attributed to a confluence of frost resistance, physiological stress responses, flowering timing, genetic adaptability, and microclimatic circumstances. Rose Glow and Golden Reinders exhibit greater resilience owing to their enhanced frost resistance and stress management, whilst Jeromine are susceptible to late spring frosts. Prolonged and intense frost occurrences, especially those noted in Konya from April 10 to 12, significantly impeded the blossom-to-fruit transition across all apple cultivars. Rose Glow and Golden Reinders shown limited resistance, whilst Jeromine were recognized as the most vulnerable cultivars. These findings underscore the paramount significance of cultivar selection to mitigate the danger of frost damage in continental climates like Konya.

Figure 2. Microscopic images of frost-damaged floral organs

	GRANNY SMITH CHALLENGER	FUJI ZHEN AZTEC	GALAVAL	GOLDEN REINDERS	ROYAL GALA	ROSE GLOW	JEROMINE
STAGE-1							
STAGE-2							
STAGE-3							
STAGE-4							

References

- Aslantaş, R., Karakurt, H., Karakurt, Y. (2010). Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımında hücresel ve moleküler mekanizmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 157–167.
- Blanke, M. M., Kunz, A. (2011). Effects of climate change on pome fruit phenology and precipitation. *Acta Horticulturae*, 922, 381–386.
- Byers, R. E., Marini, R. P. (1994). Influence of blossom and fruit thinning on peach flower bud tolerance to an early spring freeze. *HortScience*, 29, 146–148.
- Eccel, E., Rea, R., Caffarra, A., Crisci, A. (2009). Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: The role of phenological acclimation. *International Journal of Biometeorology*, 53, 273–286.
- Ginzberg, I., Stern, R. A. (2016). Strengthening fruit-skin resistance to growth strain by application of plant growth regulators. *Scientia Horticulturae*, 198, 150–153.
- Hoffmann, H., Rath, T. (2013). Future bloom and blossom frost risk for *Malus domestica* considering climate model and impact model uncertainties. *PLoS ONE*, 8(9), e75033.
- Liu, Q., Piao, S., Janssens, I. A., Fu, Y. H., Peng, S., Lian, X., Wang, T. (2018). Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. *Nature Communications*, 9(1), 426.
- Ma, Q., Huang, J. G., Hänninen, H., Berninger, F. (2019). Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Global Change Biology*, 25(1), 351–360.
- Nidzgorska-Lencewicz, J., Mąkosza, A., Koźmiński, C., Michalska, B. (2024). Potential risk of frost in the growing season in Poland. *Agriculture*, 14(3), 501.
- Pfleiderer, P., Menke, I., Schleussner, C. (2019). Increasing risks of apple tree frost damage under climate change. *Climatic Change*, 157(3–4), 515–525.
- Rodrigo, J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees—Morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85(3), 155–173.
- Sugiura, T., Ogawa, H., Fukuda, N., Mariguchi, T. (2013). Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. *Scientific Reports*, 3, 2418.
- Szalay, L., Bakos, J. L., Tóth, M. (2022). Frost hardiness of apple generative buds during dormancy. *Acta Agriculturae Slovenica*, 118(4), 1–7.
- Tharaga, P. C., Steyn, A. S., Coetzer, G. M. (2021). Climate change impacts on temperature and chill unit trends for apple (*Malus domestica*) production in Ceres, South Africa. *Atmosphere*, 12(6), 740.
- Unterberger, C., Brunner, L., Nabernegg, S., Steininger, K. W., Steiner, A. K., Stabentheiner, E., Truhetz, H. (2018). Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS ONE*, 13(7), e0200201.

Warrington, I. J., Fulton, T. A., Halligan, E. A., de Silva, H. N. (1999). Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, 468–477.

Zhu, Y., Yang, G., Yang, H., Zhao, F., Han, S., Chen, R., Zhao, C. (2021). Estimation of apple flowering frost loss for fruit yield based on gridded meteorological and remote sensing data in Luochuan, Shaanxi Province, China. *Remote Sensing*, 13(9), 1630.

Žnidaršič, Z., Gregorič, G., Sušnik, A., Pogačar, T. (2023). Frost risk assessment in Slovenia in the period of 1981–2020. *Atmosphere*, 14(4), 683.

Zohner, C. M., Mo, L., Renner, S. S., Svenning, J., Vitasse, Y., Benito, B. M., Crowther, T. W. (2020). Late-spring frost risk between 1959 and 2017 decreased in North America but increased in Europe and Asia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(22), 12192–12200.

ECO-FRIENDLY STRATEGIES IN AQUACULTURE: THE IMPACT OF PLANT EXTRACTS ON FISH SPERM QUALITY AND CRYOPRESERVATION

Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

Munzur University, Fisheries Faculty, 62000, Tunceli, Türkiye.

filizkutluyer@hotmail.com - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-5802>

Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

Karadeniz Technical University Faculty of Forestry, Department of Wildlife Ecology and Management 61080, Trabzon, Turkey.

mkocabas@hotmail.com - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-6500>

ABSTRACT

Sperm quality is a critical factor for sustainable production in aquaculture, and high-quality sperm can be preserved long-term through cryopreservation, contributing to the safeguarding of future generations and increased fertility. The cryopreservation process can negatively impact sperm motility, viability, and plasma membrane integrity, leading to reduced fertilization and hatching rates. Today, plant extracts have gained an important place among inexpensive and natural additives thanks to their protective and supportive properties that help sperm maintain their functionality under storage conditions. Studies have been conducted on the effects of different plant extracts (*Ferula* sp., *Tribulus terrestris*, *Phoenix dactylifera*, *Eurycoma longifolia*, *Aloe barbadensis*, *Echinacea purpurea*, *Herba hyperici*, *Rosmarinus officinalis*, *Phoenix dactylifera*, *Curcuma longa*) on sperm cryopreservation in different fish species (*Cyprinus carpio*, *Oncorhynchus mykiss*, *Epinephelus lanceolatus*, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, *Carassius auratus*, *Pangasius hypophthalmus*). Plant extracts have been reported to have effects such as increasing sperm motility, viability, and fertilization rates after cryopreservation, preserving membrane integrity, reducing DNA damage, and reducing reactive oxygen species (ROS) levels. In conclusion, plant extracts can be used in aquaculture to improve sperm quality and increase the success of breeding programs due to their environmental friendliness and positive effects on sperm preservation. Different plant species should be tested for sperm preservation in different fish species.

Keywords: plant, sperm quality, cryopreservation.

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ÇEVRE DOSTU STRATEJİLER: BİTKİ EKSTRELERİNİN BALIK SPERM KALİTESİ VE KRYOPREZERVASYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretim için sperm kalitesi kritik bir faktördür ve yüksek kaliteli sperm, kriyoprezervasyon yöntemiyle uzun süreli olarak saklanarak gelecek nesillerin güvence altına alınmasına ve verimliliğin artmasına katkı sağlar. Kriyoprezervasyon süreci, sperm motilitesi, viabilitesi ve plazma zar bütünlüğünü olumsuz etkileyerek dölleme ve açılım oranlarının düşmesine neden olabilir. Günümüzde bitki özleri, sperm muhafaza koşullarında işlevselliğini sürdürebilmesi için hem koruyucu hem de destekleyici özellikleri sayesinde ucuz ve doğal katkı maddeleri arasında önemli bir yer edinmiştir. Farklı bitki özlerinin (*Ferula sp.*, *Tribulus terrestris*, *Phoenix dactylifera*, *Eurycoma longifolia*, *Aloe barbadensis*, *Echinacea purpurea*, *Herba hyperici*, *Rosmarinus officinalis*, *Phoenix dactylifera*) farklı balık türlerinin (*Cyprinus carpio*, *Oncorhynchus mykiss*, *Epinephelus lanceolatus*, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, *Carassius auratus*, *Pangasius hypophthalmus*, *Curcuma longa*) sperm kriyoprezervasyonu üstündeki etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bitki özlerinin, sperm kriyoprezervasyon süreci sonrasında motilite, canlılık ve dölleme oranını artış, membran bütünlüğünde koruma ve DNA hasarında azalma sağlama, reaktif oksijen türleri (ROT) düzeyinde düşme gibi etkileri olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, bitki özleri çevre dostu olmaları ve sperm muhafazasında olumlu etkileri nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliğinde sperm kalitesini iyileştirmek ve üreme programlarının başarısını artırmak amacıyla kullanılabilir ve farklı bitki türleri farklı balık türlerinin sperm muhafazasında denenmelidir.

Anahtar kelimeler: bitki, sperm kalitesi, kriyoprezervasyon.

1. GİRİŞ

Kriyoprezervasyon, genetik materyalin korunması ve su ürünleri yetiştiriciliği için balık spermının kriyoprezervasyonunda kullanılmaktadır. Bu teknik, üreme sorunları veya coğrafi uzaklığı olan türler için kullanılır. Kriyoprezervasyondan elde edilen sperm, hızlı büyüyen melezler elde etmek için melezlemede başarıyla kullanılmıştır (Kiriyaakit ve ark., 2011; Widyaningsih ve ark., 2019)

Sperm kriyoprezervasyonu, anaç yönetimini düzeltmek ve yapay dölleme işlemiyle üretilen nitelikli genç sperm miktarını artırmak için kullanılan bir tekniktir (Chereguini ve ark., 2002; Kiriyaakit ve ark., 2011; Liu ve ark., 2016; Widyaningsih ve ark., 2019). Kriyoprezervasyon, hayvan ve bitki hücrelerinin düşük sıcaklıklarda dondurulması tekniğidir (Gazali ve Tambing, 2002). Kriyoprezervasyon tekniği, tür içi melezleme sürecinde lagos balıklarına faydalar sağlar; bu, olgun dişiler ve olgun erkekler farklı yerlerde kültüre alınırsa mümkündür (Liu ve ark., 2016). Bu tekniğin amacı, özellikle üreme ve çevre koşullarıyla ilgili sorunlar yaşayan dev lagos gibi bazı türler için, genetik materyalin yetiştirilmesi ve korunmasında faydalı olan balık spermını muhafaza etmektir. Bu teknik, yüksek kaliteli melez lagos (hızlı büyüme) üretmek için uygulanır (Kiriyaakit ve ark., 2011; Widyaningsih ve ark., 2019).

Balık spermının başarılı bir şekilde kriyoprezervasyonu, dondurma ortamına, sulandırıcıya ve kriyoprotektana bağlıdır. Sodyum klorür (NaCl), deniz balığı ringer'ı (MFR) ve sodyum sitrat (CT) gibi çeşitli sulandırıcılar, deniz balığı spermının kriyoprezervasyonu için test edilmiştir (Kiriyaakit ve ark., 2011; Widyaningsih ve ark., 2019).

Dondurulup çözülmüş sperma kullanılarak yapılan suni tohumlama, çiftlik hayvanları için kullanılan bir üreme tekniğidir. Bu tekniğin temeli, spermde kısmen geri döndürülemez hasarlara neden olan semen kriyoprezervasyonudur (Purdy, 2006; Vahedi ve ark., 2018). Bu hasar, sperm hareketliliğinin, canlılığının, plazma zar bütünlüğünün ve nihayetinde erkek doğurganlığının kaybına yol açabilir (Baghshahi ve ark., 2014; Vahedi ve ark., 2018).

Kriyoprezervasyon sırasında oluşan fiziksel ve kimyasal hasarlar, reaktif oksijen türlerinin (ROS) önemli miktarda üretimi ve hücre zarındaki lipitlerin O₂ ve H₂O₂ gibi serbest radikaller tarafından peroksidasyonu ile ilişkilidir (Wang ve ark., 1997; Sinha ve ark., 1996; Vahedi ve ark., 2018). Curry ve ark. (1994) ve Lamirande ve ark. (1997), lipid peroksidasyonunun ve sperm disfonksiyonunun önlenmesi için etkili antioksidan sistemlerin uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, spermleri oksidatif hasara karşı korumak için çok sayıda araştırmacı, kriyoprezervasyon işlemleri sırasında çeşitli sentetik ve doğal antioksidanların spermatozoa üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sentetik antioksidanların toksisite sorunları nedeniyle, daha güvenli ve daha etkili doğal antioksidanlar üzerinde araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Vahedi ve ark., 2018).

Yapay dölleme, balık yetiştiriciliğinde balık spermi ve yumurtalarının toplamı kontrollü bir şekilde karıştırılmasını ve ardından balık larvaları üretmek için kuluçkaya yatırılmasını içeren benzersiz bir tekniktir (Endoh ve ark., 2022; Niu ve ark., 2022; Nguang ve ark., 2024). Bu süreç, üremeyi önemli ölçüde iyileştirir ve istenen genetik özelliklerin yayılmasını hızlandırır. Yapay döllemenin etkinliği, boşalan balık spermının kalitesine ve miktarına ve ayrıca sperm kalitesini kısa sürede veya uzun süreler boyunca koruyabilme yeteneğine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan kriyoprezervasyon, dondurmanın neden olduğu hasarı

en aza indirmek için spermleri kriyoprotektanlar kullanarak ultra düşük sıcaklıklara yerleştirerek korumada önemli bir rol oynar (Ekici ve ark., 2022; Niu ve ark., 2022; Nguang ve ark., 2024).

Balık spermi saklamada, sperm kalitesi genellikle sperm canlılığı, semen kütle hareketleri ve yumurtaları dölleme kabiliyetlerine göre değerlendirilir (Gallego ve Asturiano, 2018; Kowalski ve Cejko, 2019). Ancak, farklı balık türleri kriyoprotektanlara ve dondurmaya verdikleri tepkilerde biyolojik farklılıklar gösterdiğinden, her tür için kriyoprezervasyon prosedürünü optimize etmek önemlidir (Kommisrud ve ark., 2020). Günümüzde piyasada balık spermini saklamak için farklı türlerde semen sulandırıcıları mevcuttur. Ancak, bu sulandırıcıların çoğu, sperm hücreleri için toksik olabilecek yüksek oranda kimyasal içerir (Bustani ve ark., 2021; Félix ve ark., 2021). Ayrıca, en çok kullanılan ekstansör madde olan yumurta sarısının bazı dezavantajları vardır. Yumurta sarısı, sperm zarındaki lipitleri çözerek ve ona bağlanarak sperm hücrelerini soğuk şokundan korumada etkili olsa da (Mortazavi ve ark., 2020), hayvansal kökenli olması nedeniyle bakteriyel kontaminasyon riski taşır (Swelum ve ark., 2018). Ayrıca, yumurta sarısı parçacıklarının granüler yapısı, spermin mikroskop altında incelenmesini ve biyokimyasal testler yapılmasını engelleyebilir (Pillet ve ark., 2011; Nguang ve ark., 2024).

Bitkiler, farklı yöntemlerle elde edilebilen çeşitli doğal bileşiklere sahiptir. Bu yöntemlerden biri buhar damıtmadır. Buhar damıtmasında, taze otlar retorta yerleştirilir ve sıcak buhara maruz bırakılır. Buharın ısıyla bitkideki yağ keseleri patlar ve uçucu yağ buharla karışır, ardından bu karışım soğutma kanalına girer. Soğutma kanalında soğuk suyla yoğunlaştırılır ve yağ depolama tankında biriktirilir. Soğutulduktan sonra su ve yağ karışımı ayrılır. Kalan yağ çıkarılır ve daha sonra kullanılmak üzere toplanır. Bitkilerin ve bunlardan elde edilen bileşiklerin potansiyel terapötik ajanlar olarak incelenmesi, bitkisel farmakognozinin temel odak noktasıdır (Ros-Santaella ve ark., 2021; Secer ve ark., 2023). Önceki çalışmalar, semen sulandırıcılara farklı antioksidanlar eklemenin, kontrol grubuna kıyasla dondurma-çözme işlemi sırasında sperm kalitesinin korunmasını artırabileceğini göstermiştir. Ancak, antioksidan kaynağı olarak tıbbi bitki özlerinin sperm kalitesi üzerindeki etkisini inceleyen literatürde yetersizlik vardır (Bilodeau ve ark., 2001; Lo ve ark., 2002; Zanganeh ve ark., 2013; Daghigh-Kia ve ark., 2014; Secer ve ark., 2023).

Son yıllarda, güvenlikleri, etkinlikleri ve sürdürülebilirlikleri nedeniyle sentetik antimikrobiyal ajanlara alternatif olarak doğal bitki özlerinin kullanımına olan ilgi artmaktadır. Bitkisel özlerin çeşitli sağlık yararları için kullanımı son yıllarda sadece insanlar için değil, aynı zamanda hayvanlar için de ilgi görmektedir (Secer ve ark., 2023). Çeşitli bitkisel ürünler, flavonoidler, tanenler, kumarinler, kurkuminoidler, ksantonlar, fenolikler, lignanlar ve terpenoidler gibi antioksidan bileşikler içerir (Jeong vd. 2004). Çeşitli çalışmalar, spermin dondurulup çözülmesi sırasında bitkisel antioksidanların kullanımının sperm kalitesi üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir (Vahedi ve ark., 2018). Son yıllarda katkı maddelerinin etkileri, su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe üremeye odaklanan araştırmalarda da önemli bir rol oynamaktadır. Bu derlemede, farklı bitki özlerinin farklı balık türlerinin sperm kalitesi ve kriyoprezervasyonundaki etkilerinin sunulması amaçlanmıştır.

2. SPERM KRİYOPREZERVASYONU

Kriyobiolojinin bilimsel temelleri, gliserolün kümes hayvanı spermi için kriyoprotektif özelliklerinin keşfedildiği 1950'lere kadar uzanmaktadır (Polge ve ark., 1949). Balık spermının kriyoprezervasyonuna ilişkin ilk çalışmalar bundan kısa bir süre sonra yayınlanmıştır (Blaxter, 1953) ve o zamandan beri 200'den fazla balık türü incelenmiştir (Rana, 1995; Tiersch, 2000). Kriyoprezervasyon, hücreler ve dokular gibi biyolojik materyallerin genellikle -196°C 'ye (sıvı nitrojen için) kadar düşük sıcaklıklara soğutularak korunduğu, ancak daha sonra 0°C 'nin üzerindeki sıcaklıklara ısıtıldıktan sonra bile canlılığını koruduğu bir işlemdir. Sperm kriyoprezervasyonu için bu süreç genellikle gamet toplama, spermin bir sulandırıcıda süspansiyon haline getirilmesi, kalite değerlendirmesi, kriyoprotektanların eklenmesi, dengeye getirme, dondurma, çözme ve döllenmeyi ve kriyoprezervasyon başarısının değerlendirilmesi için erken yaşam evrelerinin geliştirilmesini içerir (Tiersch, 2000; Tiersch ve ark., 2007).

Sperm hücrelerinin geleneksel kriyoprezervasyonu genellikle kriyoprotektanların kullanımını ve hücresel dehidrasyon ve büzülme için yavaş dondurmaya içerir. Kriyoprotektanlar, hücreleri dondurma ve çözme sırasında hasardan korumak için kullanılan kimyasallardır. Etki mekanizmaları henüz tam olarak anlaşılmamış olsa da, dimetil sülfoksit gibi nüfuz edici kriyoprotektanların çözeltinin donma noktasını düşürdüğüne, hücre içindeki suyu değiştirerek ozmotik şoku en aza indirdiğine ve yıkıcı hücre içi buz oluşumunu azalttığına inanılmaktadır (Doebbler, 1966; Rowe, 1966; Leung, 1991; Tiersch ve ark., 2007). Şekerler ve polimerler gibi nüfuz etmeyen kriyoprotektanların kriyoprezervasyon sırasında zarar stabilize edilmesine yardımcı olduğuna inanılmaktadır (Meryman, 1971). Soğutmadan önce hücreye çok az kriyoprotektan girmesi etkinliği azaltır (Taylor ve ark., 1974), çok fazla girmesi ise çözme ve seyreltme sırasında ozmotik şişmeye ve yırtılmaya neden olur. Ayrıca, kriyoprotektanlar genellikle hücreler için toksiktir ve bu nedenle kriyoprotektan seçimi ve optimum konsantrasyonları (koruma ve toksisite arasında bir denge) birçok çalışmanın odak noktası olmuştur. Dondurmadan önce optimum denge, nüfuz eden kriyoprotektanların sperme nüfuz etmesi için gereken süreyi sağlarken toksisiteyi en aza indirmek ve sıcaklıktan etkilenmek için gereklidir (Tiersch ve ark., 2007).

Dondurma için optimum soğutma hızının seçimi, sperm kriyoprezervasyonu üzerine yapılan çok sayıda çalışmanın bir diğer önemli odak noktası olmuştur. Optimal olarak kabul edilebilmesi için, bir hızın hücre içi buz miktarını (zarar verici seviyenin altında) en aza indirecek kadar yavaş, ancak hücrelerin "çözünme etkisi" (buz oluşumunun neden olduğu dehidrasyon sırasında çözünürlük sınırları aşıldığında oluşan çözünen maddelerin konsantrasyonu ve çökmesi) olarak adlandırılan etkiye maruz kalma süresini en aza indirecek kadar hızlı olması gerekir. Genel olarak, yeniden kristalleşmeyle (çözülme sırasında küçük buz kristallerinin büyük kristallere dönüşmesi) ilişkili hasarı en aza indirmek için hızlı çözme tercih edilir. Sperm kriyoprezervasyonu üzerine yapılan çok sayıda çalışma, kriyoprezervasyon prosedürlerinin belirli bileşenlerini optimize etmeye ayrılmıştır. Ancak, yukarıda belirtilen faktörlerin yanı sıra, numune yoğunluğu, dondurma kabı, başlangıç sıcaklıkları, son sıcaklıklar (sıvı nitrojene daldırılmadan önce), seyreltme ve çözüldükten sonra kriyoprotektanın uzaklaştırılması gibi diğer faktörler de sonuçları etkileyebilir (Leibo, 2000; Tiersch ve ark., 2007). Bu nedenle, kriyoprezervasyon prosedürleri her tür ve hücre tipi için özel olarak tasarlanmalı ve kriyobiolojik özelliklerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına dayanmalıdır (öreğin, Mauger ve ark., 2006; Tiersch ve ark., 2007).

3. BİTKİ ÖZLERİNİN BALIK SPERM KRİYOPREZERVASYONUNDA KULLANIMI

Bitkiler, onları potansiyel patojenlere (bakteriler, mantarlar, virüsler), otçullara ve zararlılara karşı koruyan, polinatörleri çeken ve diğer organizmalarla simbiyozu kolaylaştıran çok çeşitli kimyasal bileşikler (fitokimyasallar) üretir. Bu fitokimyasallar ikincil metabolitler olarak bilinir ve karbonhidratlar, lipitler ve amino asitler gibi birincil metabolitlerden (normal büyüme, gelişme ve üremede rol oynar) türetilir. İkincil metabolitler, insanlar tarafından yaygın olarak kullanılmıştır (örneğin pigmentler, çeşniler, ilaçlar) ve bitkilerin farmakolojik aktivitesinden sorumlu ana bileşiklerdir. Günümüzde modern tıpta kullanılan birçok ilaç (atropin, kodein, morfin, taksol vb.) bitki ikincil metabolitlerinden türetilir. Bitkilerde bulunan başlıca ikincil metabolit grupları arasında alkaloidler, fenolik bileşikler ve terpenoidler bulunur. Bu bileşiklerin antioksidan, antimikrobiyal, antiviral, antitümör, analjezik, antiinflamatuvar, antimitojenik ve antiparaziter gibi çok sayıda değerli özelliği olduğu bildirilmiştir (Ros-Santaella ve ark., 2021).

Bitki özlerinin hazırlanmasında kullanılan kısmı (örneğin kök, kabuk, gövde, yaprak, çiçek, polen, meyve) önemli faktörlerden çünkü bitki özünün kimyasal bileşimini ve dolayısıyla sperm fonksiyonu üzerindeki olası etkilerini etkileyebilir. Sperm örneklerinde kullanılacak bitki ekstresi konsantrasyonunun seçimi önemli bir adımdır ve kullanılan ekstraksiyon yönteminden de etkilenir. Dolayısıyla, mevcut çalışmada sunulan veriler ışığında, aynı bitki türü, kullanılan ekstrakt konsantrasyonuna bağlı olarak aynı canlı türünde sperm parametreleri üzerinde negatif veya pozitif etkiler gösterebilir. Ayrıca, aynı bitki ekstresi konsantrasyonunun, kullanılan koruma yöntemine bağlı olarak sperm parametreleri üzerinde farklı etkilere sahip olabileceğini unutmamak önemlidir (Nimrat ve ark., 2020a,b; Ros-Santaella ve ark., 2021).

Son yıllarda, ekonomik ve doğal bir antioksidan kaynağı olarak bitki özlerinin kullanımı, sperm muhafazasında umut verici sonuçlar veren yeni bir yaklaşım haline gelmiştir (Ros-Santaella ve ark., 2021). Tablo 1'de farklı bitki özlerinin farklı balık türlerinin sperm kriyoprezervasyonundaki etkileri sunulmuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Geleneksel olarak sperm korunmasında kullanılan antioksidanlar maliyetlerinden dolayı semen sulandırıcılara eklenmekte sınırlı kalır. Bitki özlerinin tüm bileşenleriyle kullanımı ise, güçlü antioksidan kapasite ve fenol ile terpenoid gibi ikincil metabolitlerin sağladığı antimikrobiyal özelliklerle daha kapsamlı bir koruma sunar. Gelecekteki çalışmalarda sperm hareketliliğinin ve bitki özlerinin sperm hücreleri üzerindeki etkisinin araştırılması düşünülmektedir. Bitki özlerinin koruyucu etki potansiyeli olabilir ve balık spermının seyreltilmesinde faydalı olabilirler.

- Baghshahi, H., Riasi, A., Mahdavi, A. H., & Shirazi, A. (2014). Antioxidant effects of clove bud (*Syzygium aromaticum*) extract used with different extenders on ram spermatozoa during cryopreservation. *Cryobiology*, 69(3), 482-487. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2014.10.003>.
- Bilodeau, J. F., Blanchette, S., Gagnon, C., & Sirard, M. A. (2001). Thiols prevent H₂O₂-mediated loss of sperm motility in cryopreserved bull semen. *Theriogenology*, 56(2), 275-286. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00562-3](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00562-3)
- Blaxter, J. H. S. (1953). Sperm storage and cross-fertilization of spring and autumn spawning herring. *Nature*, 172(4388), 1189-1190. <https://doi.org/10.1038/1721189a0>
- Bustani, G. S., & Baiee, F. H. (2021). Semen extenders: An evaluative overview of preservative mechanisms of semen and semen extenders. *Veterinary World*, 14(5), 1220-1233. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1220-1233>
- Chereguini, O., de la Banda, I. G., Rasines, I., & Fernández, A. (2002). Cryopreservation of turbot (*Scophthalmus maximus*) sperm: Cryoprotectant, dilution ratio and post-thaw motility. *Aquaculture Research*, 33(8), 637-641. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00689.x>
- Curry, M. R., Millar, J. D., & Watson, P. F. (1994). Calculated optimal cooling rates for ram and human sperm cryopreservation fail to confirm with empirical observations. *Biology of Reproduction*, 51(6), 1014-1021. <https://doi.org/10.1095/biolreprod51.6.1014>
- Daghigh-Kia, H., Olfati-Karaji, R., Hoseinkhani, A., & Ashrafi, I. (2014). Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extracts and glutathione antioxidants on bull semen quality after cryopreservation. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(1), 98-105. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014121-4486>
- Doebbler, G. F. (1966). Cryoprotective compounds: Review and discussion of structure and function. *Cryobiology*, 3(1), 2-11. [https://doi.org/10.1016/S0011-2240\(66\)80003-2](https://doi.org/10.1016/S0011-2240(66)80003-2)
- Doğu, Z., Aral, F., Şahinöz, E., Temiz, E., & Koyuncu, İ. (2023). Impact of curcumin supplementation on sperm characteristics and gene expression in fish sperm freezing medium. *Genetics of Aquatic Organisms*, 7(4), 193-202. https://doi.org/10.4194/2459-1831-v7_4_04
- Ekici, A., Yamaner, G., & Demircan, M. D. (2022). Cryopreservation studies in aquaculture from past to present: Scientific techniques and quality controls for commercial applications. In A. Katavic (Ed.), *Aquaculture – New perspectives and applications* (pp. 1-32). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102624>
- Endoh, M., Hazama, R., Kaya, K., Futamura, Y., Doi, S., Makinose, I., Pandey, D., Nishimiya, O., Havelka, M., Saito, T., Goto, R., & Matsubara, T. (2022). Efficient artificial fertilization and

- ovulated egg preservation in Kawakawa *Euthynnus affinis*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 599. <https://doi.org/10.3390/jmse10050599>
- Felix, F., Oliveira, C. C. V., & Cabrita, E. (2021). Antioxidants in fish sperm and the potential role of melatonin. *Antioxidants*, 10(1), 36. <https://doi.org/10.3390/antiox10010036>
- Fariedah, F., & Widodo, M. S. (2020). Extender combination of date palm juice (*Phoenix dactylifera*) and lactated Ringer on spermatozoa quality of freshwater fish. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(3), 182-188. <https://doi.org/10.20473/jafh.v9i3.17847>
- Gallego, V., & Asturiano, J. F. (2018). Fish sperm motility assessment as a tool for aquaculture research: A historical approach. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 697-724. <https://doi.org/10.1111/raq.12251>
- Gazali, M., & Tambing, S. N. (2002). Cryopreservation of spotted buffalo semen: Effects of diluent and glycerol levels. *Hayati Journal of Biosciences*, 9(1), 27-32. <https://doi.org/10.4308/hjb.9.1.27>
- Jeong, S. Y., Kim, D. R., Kim, K. C., Nam, D. U., & Ahn Lee, S. C. (2004). Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *Food Science and Technology Research*, 10(4), 377-381. <https://doi.org/10.3136/fstr.10.377>
- Kiriyakit, A., Gallardo, W. G., & Bart, A. N. (2011). Effects of extenders, cryoprotectants and cryopreservation methods on common carp (*Cyprinus carpio*) sperm. *Aquaculture*, 320(1-2), 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.006>
- Kommisrud, E., Myromslien, F. D., Stenseth, E. B., Zeremichael, T. T., Hofman, N., Grevle, I., & Sunde, J. (2020). Viability, motility, ATP content and fertilizing potential of sperm from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in milt stored before cryopreservation. *Theriogenology*, 151, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.019>
- Kowalski, R. K., & Cejko, B. I. (2019). Sperm quality in fish: Determinants and affecting factors. *Theriogenology*, 135, 94-108. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.009>
- Lamirande, D. E., Jiang, H., Zini, A., Kodama, H., & Gagnon, C. (1997). Reactive oxygen species and sperm physiology. *Reviews of Reproduction*, 2(1), 48-54. <https://doi.org/10.1530/ror.0.0020048>
- Leibo, S. P. (2000). Sources of variation in cryopreservation. In T. R. Tiersch & P. M. Mazik (Eds.), *Cryopreservation in aquatic species* (pp. 75-83). World Aquaculture Society.
- Leung, L. K. P., & Jamieson, B. G. M. (1991). Live preservation of fish gametes. In B. G. M. Jamieson (Ed.), *Fish evolution and systematics: Evidence from spermatozoa* (pp. 245-269). Cambridge University Press.
- Liu, Q. H., Xiao, Z. Z., Ding, F. H., Wang, J., & Xu, X. Z. (2016). Effect of cryopreservation on mitochondrial function and motility of fish sperm. *Theriogenology*, 85(8), 1399-1407. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.12.005>
- Lo, A. H., Liang, Y. C., Lin-Shiau, S. Y., Ho, C. T., & Lin, J. K. (2002). Carnosol, an antioxidant in rosemary, suppresses inducible nitric oxide synthase through down-regulating nuclear factor- κ B in mouse macrophages. *Carcinogenesis*, 23(6), 983-991. <https://doi.org/10.1093/carcin/23.6.983>

- Mauger, R. E., Le Bail, P. Y., & Labbe, C. (2006). Cryobanking of fish somatic cells: Optimizations of fin explant culture and fin cell cryopreservation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 144(1), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.01.004>
- Meryman, H. T. (1971). Cryoprotective agents. *Cryobiology*, 8(2), 173-183. [https://doi.org/10.1016/0011-2240\(71\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0011-2240(71)90022-5)
- Mortazavi, S. H., Eslami, M., & Farrokhi-Ardabili, F. (2020). Comparison of different carrier compounds and varying concentrations of oleic acid on freezing tolerance of ram spermatozoa in tris-citric acid-egg yolk plasma semen diluent. *Animal Reproduction Science*, 219, 106533. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106533>
- Nguang, S. I., Zainal, N. S. B., Hafas, A. M. B., Ha, H. C., Komilus, C. F., & Asmad, K. (2024). Effects of antibiotic and sugar-free aloe vera (*Aloe barbadensis*) based extender on cryopreserved sperm of tilapia (*Oreochromis* sp.). *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(Special issue 1), 152-160. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2024.40.s1.152.160>
- Nimrat, S., Noppakun, S., Sripuak, K., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2020a). Cryopreservation of banana shrimp (*Fenneropenaeus merguensis*) spermatophores with supplementation of medicinal plant extracts: Development of a programmable controlled-rate method and a practical method. *Aquaculture*, 515, 734537. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734537>
- Nimrat, S., Playsin, N., Jong-on, B., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2020b). Chilled storage of banana shrimp (*Fenneropenaeus merguensis*) spermatophores with supplementation of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) extract. *Aquaculture Research*, 51(9), 3582-3592. <https://doi.org/10.1111/are.14682>
- Niu, J., Wang, X., Liu, P., Liu, H., Li, R., Li, Z., He, Y., & Qi, J. (2022). Effects of cryopreservation on sperm with cryodiluent in viviparous black rockfish (*Sebastes schlegelii*). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), 3392. <https://doi.org/10.3390/ijms23063392>
- Ölçülü, A., Kocabaş, F. K., Aksu, Ö., Kocabaş, M., İnce, O. K., & Karakavuk, E. (2022). Enhancing motility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sperm by *Tribulus terrestris* extract supplementation. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 397-404. <https://doi.org/10.29132/ijpas.1156930>
- Ölçülü, A., Özçiçek, E., Kutluyer Kocabaş, F., Kızak, V., Kocabaş, M., & Yılmaz, Ö. (2025). Effect of *Ferula* sp. on sperm cryotolerance, quality, and fatty acid composition in common carp (*Cyprinus carpio*). *Veterinary Research Communications*, 49(5), 264. <https://doi.org/10.1007/s11259-025-10408-0>
- Pillet, E., Duchamp, G., Batellier, F., Beaumal, V., Anton, M., Desherces, S., Schmitt, E., & Magistrini, M. (2011). Egg yolk plasma can replace egg yolk in stallion freezing extenders. *Theriogenology*, 75(1), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.07.014>

- Polge, C., Smith, A. U., & Parkes, A. S. (1949). Revival of spermatozoa after vitrification and dehydration at low temperatures. *Nature*, *164*(4172), 666. <https://doi.org/10.1038/164666a0>
- Purdy, P. H. (2006). A review on goat sperm cryopreservation. *Small Ruminant Research*, *63*(3), 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.02.015>
- Rana, K. J. (1995). Cryopreservation of fish spermatozoa. In J. G. Day & M. R. McLellan (Eds.), *Cryopreservation and freeze-drying protocols. Methods in Molecular Biology* (Vol. 38, pp. 151-165). Humana Press. <https://doi.org/10.1385/0-89603-296-5:151>
- Ros-Santaella, J. L., & Pintus, E. (2021). Plant extracts as alternative additives for sperm preservation. *Antioxidants*, *10*(5), 772. <https://doi.org/10.3390/antiox10050772>
- Rowe, A. W. (1966). Biochemical aspects of cryoprotective agents in freezing and thawing. *Cryobiology*, *3*(1), 12-18. [https://doi.org/10.1016/S0011-2240\(66\)80004-4](https://doi.org/10.1016/S0011-2240(66)80004-4)
- Secer, F. S., Yavas, I., Cantekin, Z., Bozkurt, Y., Yavas, T. K., & Atanasoff, A. (2023). Effect of different plant extracts on microbial population in the frozen African catfish (*Clarias gariepinus*) semen. *Cellular and Molecular Biology*, *69*(8), 144-147. <https://doi.org/10.14715/cmb/2023.69.8.25>
- Sinha, M. P., Sinha, A. K., Singh, B. K., & Prasad, P. L. (1996). The effect of glutathione on the motility, enzyme leakage and fertility of frozen goat semen. *Theriogenology*, *41*(1), 237-243. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(93\)90263-Z](https://doi.org/10.1016/0093-691X(93)90263-Z)
- Swelum, A. A. A., Saadeldin, I. M., Ba-Awadh, H., Al-Mutary, M. G., Moumen, A. F., Alowaimer, A. N., & Abdalla, H. (2019). Efficiency of commercial egg yolk-free and egg yolk-supplemented tris-based extenders for dromedary camel semen cryopreservation. *Animals*, *9*(11), 999. <https://doi.org/10.3390/ani9110999>
- Taylor, R., Adams, G. D. J., Boardman, C. F., & Wallis, R. G. (1974). Cryoprotection: Permeant vs nonpermeant additives. *Cryobiology*, *11*(5), 430-438. [https://doi.org/10.1016/0011-2240\(74\)90118-7](https://doi.org/10.1016/0011-2240(74)90118-7)
- Tiersch, T. R. (2000). Introduction. In T. R. Tiersch & P. M. Mazik (Eds.), *Cryopreservation in aquatic species* (pp. xix-xxvi). World Aquaculture Society.
- Tiersch, T. R., Yang, H., Jenkins, J. A., & Dong, Q. (2007). Sperm cryopreservation in fish and shellfish. *Society for Reproduction and Fertility Supplement*, *65*, 493-508. <https://doi.org/10.5661/RDR-VI-493>
- Vahedi, V., Evrigh, N. H., Behroozlak, M., & Dirandeh, E. (2018). Antioxidant effects of thyme (*Thymus vulgaris*) extract on ram sperm quality during cryopreservation. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, *8*(2), 325-331.
- Wang, Y., Sharma, R., & Agarwal, A. (1997). Effect of cryopreservation and sperm concentration on lipid peroxidation in human semen. *Urology*, *50*(3), 409-413. [https://doi.org/10.1016/S0090-4295\(97\)00204-7](https://doi.org/10.1016/S0090-4295(97)00204-7)

- Widyaningsih, W., Abinawanto, A., Lestari, R., Bowolaksono, A., & Zavitri, N. G. (2019). Effect of various concentrations of palm date (*Phoenix dactylifera* L.) on spermatozoa motility of giant grouper (*Epinephelus lanceolatus*). In AIP Publishing (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2168, No. 1, p. 020093). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5132529>
- Yong, S. Y., Nguang, S. I., & Kari, A. (2017). Comparison between the effect of egg yolk-based extender and *Aloe vera* (*Aloe barbadensis*) based extender on red tilapia (*Oreochromis niloticus*) sperm quality. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S), 813-820. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i2s.54>
- Zakaria, S. N. F., Syafriedhan, M., & Ching, F. F. (2020). The effects of long jack (*Eurycoma longifolia*) on sperm quality and quantity of African catfish (*Clarias gariepinus*). *International Journal of Research and Innovation in Management*, 6(1), 77-88.
- Zanganeh, Z., Zhandi, M., Zare-Shahneh, A., Najafi, A., Nabi, M. M., & Mohammadi-Sangcheshmeh, A. (2013). Does rosemary aqueous extract improve buck semen cryopreservation? *Small Ruminant Research*, 114(1), 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.05.015>

Tablo 1. Farklı bitki özlerinin farklı balık türlerinin sperm kriyoprezervasyonu üzerindeki etkileri

Bitki türü (Familya)	Balık türü	Etki	Araştırmacı
<i>Aloe barbadensis</i> (Asphodelaceae)	<i>Oreochromis niloticus</i>	%10 AVBX: en iyi sperm canlılığı; %30 AVBX: en iyi sperm hareketliliği.	Yong ve ark. (2017)
<i>Phoenix dactylifera</i> (Arecaceae)	<i>Epinephelus lanceolatus</i>	% 10 oranda çözüm sonrası spermde hareketlilik %76,70 ± 1,54	Widyaningsih ve ark. (2019)
<i>Phoenix dactylifera</i> (Arecaceae)	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	En yüksek sperm hareketliliği %52, sperm hareketliliğinde artış	Fariedah ve Widodo (2020)
<i>Phoenix dactylifera</i> (Arecaceae)	<i>Cyprinus carpio</i>	En yüksek fertilizasyon oranı %97	Fariedah ve Widodo (2020)
<i>Eurycoma longifolia</i> (Simaroubaceae)	<i>Clarias gariepinus</i>	50 g/kg dozda sperm sayısı, sperm hacmi ve hareket süresinde artış	Zakaria ve ark. (2020)
<i>Tribulus terrestris</i> (Zygophyllaceae)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	400 µg/L doz sperm hareketliliği %91,67'ye ve hareket süresini 49 sn'ye artış	Ölçülü ve ark. (2022)
<i>Curcuma longa</i> (Zingiberaceae)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	20 µM kurkumineklenmiş dondurulmuş-çözülmüş spermde NRF-2 ve Keap-1 gen ekspresyonunda anlamlı artış	Doğu ve ark. (2023)
<i>Echinacea purpurea</i> (Asteraceae)	<i>Clarias gariepinus</i>	Bakteriyel kontaminasyon seviyelerinde anlamlı derecede düşme	Seçer ve ark. (2023)
<i>Aloe barbadensis</i> (Asphodelaceae)	<i>Oreochromis sp.</i>	20 µg/ml Aloe vera + 150 mM trehaloz (AEE3) en yüksek sperm hareketliliği ve canlılık, düşük ve çok yüksek konsantrasyonlarda etkilerde azalma	Nguang ve Fariedah (2024)
<i>Ferula sp.</i> (Apiaceae)	<i>Cyprinus carpio</i>	0 µg/L dozda sperm hareketliliği %80.0 ± 3.54; VCL, VSL, VAP ve BCF parametrelerinde anlamlı artış; toplam PUFA seviyelerinde azalma	Ölçülü ve ark. (2025)

NON-CONVENTIONAL APPROACHES FOR ASSESSING SPERM QUALITY IN FISH: ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES, BIOSENSORS, AND OTHER TECHNOLOGICAL APPLICATIONS

Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

Karadeniz Technical University Faculty of Forestry, Department of Wildlife Ecology and Management 61080, Trabzon, Turkey.

mkocabas@hotmail.com - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-6500>

Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

Munzur University, Fisheries Faculty, 62000, Tunceli, Turkey.

filizkutluyer@hotmail.com - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-5802>

ABSTRACT

Assessing sperm quality is a fundamental requirement in the aquaculture industry, both for long-established commercial species and for the introduction of new species with high economic value into aquaculture. Conventional methods are used to determine sperm quality, including parameters such as sperm volume and pH, motility, morphology, and sperm concentration. However, these indicators and methods only reveal basic aspects of sperm quality and may be insufficient to fully reflect the potential for fertilization success or early embryonic development. In recent years, modern techniques and advanced technologies have been used to comprehensively analyze the structural properties, composition, and functions of seminal plasma and spermatozoa. Studies have been conducted to determine sperm quality in different fish species (*Cyprinus carpio*, *Lota lota*, *Danio rerio*, *Puntius javanicus*, *Labeo rohita*, *Larimichthys polyactis*, *Oncorhynchus mykiss*, and *Monopterus albus*) using various technological approaches, including electrophysiological and electrochemical methods, electrokinetic mobility measurements, electroporation, microfluidic devices, biosensors, and fiber optic sensors. These studies have enabled precise determination of parameters such as metabolite profiles, energy metabolism, antioxidant levels, sperm motility and viability, osmolality, mitochondrial O₂ consumption, and membrane damage in sperm and seminal plasma in small sample volumes. In conclusion, traditional methods and new technological approaches can be applied in a complementary manner, and studies using various technologies should be conducted to assess sperm quality in different fish species.

Keywords: sperm quality, fish, technology.

BALIKLARDA SPERM KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE GELENEKSEL OLMAYAN YAKLAŞIMLAR: ELEKTROKİMYASAL TEKNİKLER, BİYOSENSÖRLER VE DİĞER TEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Sperm kalitesinin değerlendirilmesi, hem uzun süredir üretimi yapılan ticari türler hem de yüksek ekonomik değere sahip yeni türlerin yetiştiriciliğe dahil edilmesi için su ürünleri endüstrisinde temel bir gerekliliktir. Sperm kalitesinin belirlenmesinde, sperm hacmi ve pH'ı, hareketlilik, morfoloji ve spermatozoa konsantrasyonu gibi parametreler geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu göstergeler ve kullanılan yöntemler, sperm kalitesinin yalnızca temel yönlerini ortaya koymakta ve özellikle dölleme başarısı ya da erken embriyonik gelişim potansiyelini tam olarak yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir. Son yıllarda, seminal plazma ve spermatozoanın yapısal özellikleri, içerikleri ve fonksiyonlarını kapsamlı biçimde analiz edebilmek için modern teknikler ve ileri teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Farklı balık türlerinde (*Cyprinus carpio*, *Lota lota*, *Danio rerio*, *Puntius javanicus*, *Labeo rohita*, *Larimichthys polyactis*, *Oncorhynchus mykiss*, *Monopterus albus*) sperm kalitesinin belirlenmesine yönelik olarak elektrofizyolojik ve elektrokimyasal yöntemler, elektrokinetik mobilite ölçümleri, elektroporasyon, mikroakışkan cihazlar, biyosensörler ve fiber optik sensörler gibi çeşitli teknolojik yaklaşımlar kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarla, sperm ve seminal plazmadaki metabolit profilleri, enerji metabolizması, antioksidan düzeyleri, sperm motilitesi ve canlılığı, osmolalite, mitokondri O₂ tüketimi ve membran hasarı gibi parametreler, küçük örnek hacimlerinde hassas bir biçimde belirlenebilmiştir. Sonuç olarak, geleneksel yöntemler ile yeni teknolojik yaklaşımlar birbirini tamamlayıcı şekilde uygulanabilir ve farklı balık türlerinde sperm kalitesinin değerlendirilmesi için çeşitli teknolojilerin kullanıldığı çalışmalar yürütülmelidir.

Anahtar kelimeler: sperm kalitesi, balık, teknoloji.

1. GİRİŞ

Balık sperm hücreleri, çekirdek ve hareketi sağlayan kamçıdan oluşan basit bir “sulu sperm” yapısına sahiptir ve kamçının çırpma mekanizmasının anlaşılmasında deniz kestanesi modeli temel alınmıştır. Kamçının ultrastruktürü basit olup, 9+2 mikrotübül düzenlemesi ve dinein ATPaz gibi moleküler motorlarla mekano-kimyasal kuvvet üretir. Öte yandan, balık sperm kamçılarının biyokimyasal yapısı karmaşıktır ve işlevini sürdürmesi için 500’den fazla düzenleyici proteine ihtiyaç duyar (Dzyuba ve ark., 2017).

Sperm kalitesini tahmin etmeye yarayan göstergelerin belirlenmesi, farklı bilimsel disiplinlerde ve biyoteknoloji ürünlerinin geliştirilmesinde değerli uygulamalarda da önemli bir rol oynayacaktır. Sperm kalitesini güvenilir şekilde tahmin etmek ve bunu döllenme kapasitesi ile erken embriyonik gelişim potansiyeliyle ilişkilendirmek zordur. Bu değerlendirme, spermin etkilendiği mekanizmaları anlamak ve gamet kalitesini etkileyen yetiştirme koşullarını kontrol etmek için önemlidir (Cabrita ve ark., 2014).

Semen, spermatozoaların sıvı bir ortam olan seminal plazma içinde asılı bulunduğu bir yapıdır. Seminal plazmanın başlıca işlevi, spermatozoları enerji sağlamak, yumurtlamadan önce spermatozoaların depolanması için uygun bir ortam oluşturmak ve hareketlilik ile canlılıklarını korumaktır. Ayrıca, seminal plazma, dış döllenme sırasında mikro çevrenin oluşumunda da önemli bir rol oynayabilir (Ciereszko, 2008; Dietrich ve ark., 2019). Seminal plazma uzun süre yalnızca spermatozoaların taşınması ve korunmasıyla ilişkilendirilmiş ve kapsamlı şekilde incelenmemiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, seminal plazma bileşenlerinin sperm fonksiyonu, döllenme ve gebelik sonuçları üzerindeki etkilerini ortaya koymuş, bu biyosıvının metabolomik analiz için serum veya idrara göre daha uygun bir örnek olduğunu göstermiştir (Courant ve ark., 2013; Zhang ve ark., 2014; Wang ve ark., 2020). Seminal sıvı, amino asitler, lipitler, nükleozitler, mineraller, elektrolitler ve steroid hormonlar gibi metabolitleri içerir ve bu moleküller sperm enerji üretimi, hareketlilik ve fonksiyonlarını etkiler. Ayrıca spermatozoalar, hareketlilik, kapasitasyon ve akrozom reaksiyonu gibi süreçleri yöneten sinyal yollarını doğrudan veya dolaylı olarak metabolize ettiği ekzojen substratlarla düzenler (Odet vd., 2013). Balıklarda seminal plazma ve spermatozoa bileşenlerini inceleyen metabolomik çalışmalar sınırlıdır; tanımlanan metabolitler ve proteinler, fertilitede rol oynayan moleküler mekanizmalar hakkında hâlen önemli bilgi boşlukları bırakmaktadır (Dietrich ve ark., 2019; Rebenaque ve ark., 2024).

Seminal plazmanın bileşimini incelemek için proteomik ve metabolomik yaklaşımlar gereklidir. Bu yöntemler, spermatozoaların korunması, enerji sağlanması ve zar bütünlüğünün sürdürülmesi gibi işlevleri ortaya koyarken, düşük moleküler ağırlıklı metabolitlerin tanımlanması erkek balık üremesinin anlaşılmasını ve potansiyel biyobelirteçlerin seçilmesini sağlar (Dietrich ve ark., 2019).

Seminal plazma metabolomu, çevresel adaptasyon ile semen kalitesi ve erkek fertilité potansiyeli arasında merkezi bir bağlantı noktası olabilir. Sperm veya seminal plazmadaki fertilité ile ilişkili biyobelirteçlerin analizi, dölleme başarısının tahminini kolaylaştırır; oysa geleneksel mikroskopik yöntemler sperm işlevselliğini ve üreme performansını açıklamada yetersiz kalır (Johnson ve ark., 1990; Petrunkina ve ark., 2007; Selvam ve ark., 2019; Lorenzo-Rebenaque ve ark., 2024).

Son yıllarda, sperm ve semenin elektrostatik özelliklerinin fertilitive üreme başarısındaki rolü bilimsel ilgi odağı haline gelmiştir. Benzer şekilde, semenin fizikokimyasal özelliklerinin fertilitive ve özellikle kriyoprezervasyon protokollerinin optimizasyonu üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik çalışmalar da sürmektedir (Priyadarshi ve ark., 2025). Bu derlemede, yeni yöntem ve teknolojilerin balık sperm kalitesinin değerlendirilmesinde kullanımı ile ilgili çalışmaların sunulması amaçlanmıştır.

2. SPERM KALİTESİ

Sperm kalitesi, yumurtayı dölleme kapasitesi ve ardından yaşayabilir yavrular üretme yeteneği ile değerlendirilir (Bobe ve Labbé, 2010). En yaygın kullanılan biyobelirteçler hareketlilik ve hız olmasına rağmen, bu kinematik parametreler sperm işlevlerinin yalnızca bir kısmını yansıtır; DNA hasarı veya yüksek oksidatif stres gibi moleküler kusurları ortaya çıkarmaz (Gallego ve Asturiano, 2019; Cabrita ve ark., 2014). Bu nedenle, sperm kalitesinin daha kapsamlı değerlendirilmesi için mikroskopik ölçümlerin ötesine geçilerek stres belirteçleri, antioksidan durumu, lipid peroksidasyonu, mitokondri disfonksiyonu ve genom analizleri gibi moleküler seviyede çalışmalar giderek önem kazanmaktadır (Cabrita ve ark., 2014; Hess ve ark., 2024).

Balıklarda sperm kalitesini değerlendirmek için tarih boyunca pek çok parametre kullanılmıştır (Fauvel ve ark., 2010). Özellikle ozmolalite, plazma bileşimi, sperm yoğunluğu ve morfoloji gibi biyobelirteçler, sperm dölleme kapasitesiyle ilişkili bulunmuştur (Cabrita ve ark., 2014). Bununla birlikte, pratik uygulamalarda sperm hareketliliği, hem ölçüm kolaylığı hem de dölleme ve yumurtadan çıkma oranlarıyla gösterilen yüksek korelasyonları nedeniyle, balıklarda sperm kalitesini belirlemede en güvenilir ve öngörücü parametre olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, sperm hareketliliğinin hem biyolojik işlevi hem de üretim süreçlerindeki önemi açısından merkezi bir belirteç olduğunu göstermektedir (Junior ve ark., 2005; Rikianto ve ark., 2017); Gallego ve ark., 2018).

Balıklarda sperm hareketliliği için gerekli ATP'nin büyük kısmının mitokondriyal solunum yoluyla sağlandığı kabul edilmektedir; ancak mitokondriyal solunumun enerji üretimine katkısı sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Genel olarak, sıcaklık arttıkça enzimatik aktivitenin yükselmesiyle solunum hızı artar ve bu da sperm hareketliliği ile hızının artmasına yol açar (Rahi ve ark., 2021).

Dış dölleme yapan balıklarda, sperm hareketliliğinin başlatılması ve sürdürülmesi için gereken enerji, durgun fakat biyoenerjetik olarak aktif durumda ATP olarak üretilir, depolanır ve aktivasyon sırasında harcanır. Enerji üretimi, glikoliz, fosfolipid ve trigliserit metabolizması, Krebs döngüsü ve oksidatif fosforilasyon gibi çeşitli yollarla sağlanır. Ancak hangi yolun baskın olduğu tartışmalıdır, türlere göre değişir ve genel bir kural izlemez; ayrıca farklı yumurtlama sıcaklıkları durumu daha da karmaşılaştırır (Ingermann, 2008; Rahi ve ark., 2021).

Sperm mitokondrilerinin işleyişi ve solunum sırasında ATP üretimi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu, hücre içi Ca^{2+} seviyelerinin düzenlenmesi ve sinyal iletimi gibi diğer önemli süreçlerle de ilişkilidir. Balık spermının solunumunun incelenmesi, mitokondriyal fonksiyon, metabolizma ve bozukluklar hakkında değerli bilgiler sağlayarak sperm biyoenerjetliğini anlamaya ve sperm kalitesi ile dölleme potansiyelini değerlendirmeye olanak tanır. Bununla birlikte, bu alan için kapsamlı, güvenilir ve pratik yöntemlere büyük ihtiyaç

vardır. Oksijen tüketimini ölçmek için çeşitli teknikler geliştirilmiş olup (Wang ve Wolfbeis, 2014), bunların uygulanabilirliği, veri toplama hızı, doğruluk, gereken örnek hacmi, kullanım kolaylığı ve maliyetleri farklılık göstermektedir. Biyoloji ve tıptaki yaygın yöntemler arasında elektron paramanyetik rezonans, polarografi ve florometri yer alır (Musatova ve ark., 2025).

Balıklarda sperm hareketliliğinin aktivasyonunda protein kinaz C, Ca^{2+} kaskadları ve cAMP/protein kinaz A gibi çeşitli sinyal yolları görev alır (Alavi ve ark., 2019), ancak bu süreçteki metabolik mekanizmalar hâlen büyük ölçüde bilinmemektedir (Zhang ve ark., 2020).

Genomik, transkriptomik, proteomik ve metabolomik gibi yüksek verimli omik teknolojiler, genlerin, transkriptlerin, proteinlerin ve metabolitlerin küresel profillerini sunarak biyolojik süreçler hakkında değerli bilgiler sağlar ve balıklarda üreme başarısını yöneten karmaşık mekanizmaları anlamamıza katkıda bulunacak mükemmel araçlar sunar (Dietrich ve ark., 2019). Proteomik, yani proteomların incelenmesi—genom tarafından ifade edilen protein ürünleri—postgenomik çağda araştırmacıların kullanımına sunulan önde gelen teknolojilerden biri haline gelmiştir; bunun nedeni, proteinlerin ve protein-protein etkileşimlerinin hücresel işlevlerde merkezi bir rol oynamasıdır (Cox ve Mann, 2007; Dietrich ve ark., 2019). Hücrelerde, dokularda veya biyolojik sıvılarda bulunan amino asitler, yağ asitleri ve karbonhidratlar, metabolit seviyelerindeki değişiklikleri değerlendirmek açısından fonksiyonel ve pratik bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Viant ve ark., 2003; Shulaev, 2006; Dietrich ve ark., 2019). Metabolitler, enzim (protein) aktivitelerinin nihai ürünleridir ve profilleri biyolojik işlevin son noktası olarak görülebilir. Bir organizma tarafından üretilen metabolitlerin tümü metabolomu oluşturur. Proteom ve metabolomun birleştirilmesi, üremenin moleküler mekanizmalarına dair kapsamlı ve yeni bakış açıları sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Ancak günümüze kadar, erkek örneklerdeki üreme süreçleri de dahil olmak üzere, balıklardaki fizyolojik sistemleri anlamak için entegre proteomik ve metabolomik imzalar nadiren karakterize edilmiştir (Dietrich ve ark., 2019).

Metabolomik, sucul türlerin ve çevresel faktörlerin incelenmesi de dahil olmak üzere biyolojik araştırmalarda geniş bir uygulama alanına sahiptir (Dumas ve ark., 2022). Küçük moleküllerin (metabolitlerin) detaylı analizi, genetik ve çevresel etkiler doğrultusunda canlı sistemlerdeki metabolik değişimleri ortaya koymayı sağlar (Alfaro ve Young, 2016; Huang ve ark., 2019; Roques ve ark., 2020). Ayrıca, metabolik biyobelirteçlerin belirlenmesine imkân tanıyarak, fizyolojik değişiklikler ve sağlık durumu hakkında değerli bilgiler sunar (Huang ve ark., 2018; Yoshida ve ark., 2014; Stevens ve ark., 2019). Metabolitler, karmaşık biyokimyasal ağlar üzerinden fizyolojik süreçlerle bağlantılıdır (Fukusaki, 2014; Guijas ve ark., 2018) ve bireylerin fenotipini yansıtmada önemli rol oynar (Guijas ve ark., 2018). Bu moleküller ayrıca organizmaların üreme, büyüme ve hayatta kalma süreçlerinde kritik öneme sahiptir (Muhamadali ve ark., 2023; Lorenzo-Rebenaque ve ark., 2024).

Balık sperminde oksidatif stresi değerlendirmek için lipid peroksidasyonu, özellikle sperm zarında yüksek miktarda bulunan çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir belirteçtir (Mansour ve ark., 2006; Li ve ark., 2010; Shaliutina ve ark., 2013). Lipid peroksidasyonu genellikle lipitlerin oksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarının ölçülmesiyle değerlendirilir. Bu amaçla en sık kullanılan yöntem TBARS testidir; yöntemde, numunedeki MDA tiyobarbitürik asit ile reaksiyona girer ve oluşan son ürün spektrofotometre ile belirlenir. Bu yaklaşım, sperm hücrelerinin oksidatif hasara maruz kalma derecesini nicel olarak ortaya koymak açısından değerli bir araçtır (Cabrita ve ark., 2014).

Kromatin hasarı, sperm kalitesinin kritik bir belirleyicisi olmasına rağmen geleneksel değerlendirmelerde genellikle göz ardı edilmiştir. Kromatine zarar verebilecek faktörlerin çoğu, döllemeyle ilgili diğer hücre yapılar için de agresiftir; bu durum, yumurtaya ulaşmayan veya nüfuz edemeyen hasarlı spermelerin dışlanmasına ve sağlam kromatin taşıyan spermatozoaların seçilmesine yol açar (Hourcade ve ark., 2010). Bununla birlikte, diğer sperm özellikleri etkilenmese bile kromatin değişiklikleri meydana gelebilir ve bu da hasarlı DNA'ya sahip spermelerin oositleri dölleyebilmesine imkân tanır (Cabrita ve ark., 2014).

DNA hasarı, sperm kalite belirlenmesinde kullanılan bir biyo-belirteçtir. Oksidatif stres, DNA zincirinin parçalanmasından sorumlu ana mekanizmalardan biridir. DNA'da, özellikle guanin olmak üzere azot bazları, ROS saldırısının ana hedefleridir ve 8-hidroksi, 2'-deoksiguanozin (8OHdG) üretir. Bu reaksiyon, guanin ile bitişik riboz birimi arasındaki bağı zayıflatarak oksitlenmiş bazın kaybına, DNA yapısının dengesizleşmesine ve lokalize zincir kırılmalarına yol açar. ROS'un DNA bütünlüğü üzerindeki etkisini ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır (Cabrita ve ark., 2014).

RNA transkriptleri, sperm kalitesini öngörebilen potansiyel biyobelirteçler olarak kabul edilmektedir (Herraez ve ark., 2017). Bu transkriptler “zaman içindeki anlık görüntüler” olarak değerlendirilebilir; doğrulanmış transkriptomik biyobelirteçler ise güvenilir, doğru ve etkili sperm kalite göstergeleri sunabilir (Qian ve ark., 2014; Herkenhoff ve ark., 2018). Kodlamayan RNA'lar (ncRNA'lar), spermatogenez ve oogenez ile ilişkili genlerin transkripsiyon sonrası düzenlenmesinde önemli rol oynar (Robles ve ark., 2019). Özellikle mikroRNA'lar (miRNA'lar), gen ekspresyon ağlarını düzenleyen kısa ncRNA'lar olarak, sperm kalitesi biyobelirteçleri olarak potansiyel göstermektedir (Bizuayehu ve Babiak, 2014; O'Brien ve ark., 2018). Ayrıca mRNA'lar, sucül türlerinde üreme kalitesini öngörmek üzere biyobelirteç olarak incelenmiştir (Sullivan ve ark., 2015; Myers ve ark., 2020). Balıklarda sperm kalitesi, larvaların ve yavruların üreme başarısında önemli farklılıklar yarattığı için (Bobe ve Labbé, 2010), su ürünleri yetiştiriciliğinde verimliliği artırmak amacıyla sperm kalitesiyle ilişkili mRNA ve kısa RNA (sRNA) biyobelirteçlerinin araştırılması kritik bir gerekliliktir (Herraez ve ark., 2017; Hess ve ark., 2024).

3. FARKLI YÖNTEM VE TEKNOLOJİLERİN BALIKLARDA SPERM KALİTE BELİRLENMESİNDE KULLANILMASI

Uygun sperm kalite değerlendirme yöntemlerinin belirlenmesi ve üreme başarısını öngören erken biyobelirteçlerin geliştirilmesi hem bilimsel araştırmalar hem de su ürünleri yetiştiriciliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşımlar, spermin fonksiyonel kapasitesini daha doğru bir şekilde ortaya koyarak, dölleme başarısını tahmin etmede güvenilir araçlar sağlar. Özellikle endüstriyel ölçekte üretimde, erken biyobelirteçler sayesinde yüksek kaliteli sperm örneklerinin seçilmesi mümkün hale gelir; böylece üretim verimliliği artar ve kaliteli yavru elde etme olasılığı yükselir. Ayrıca, bu bilgiler, kriyoprezervasyon protokollerinin optimizasyonu ve türler arası farklılıkların yönetimi gibi uygulamalara da katkıda bulunarak su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir ve kontrollü üretim stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır. Tablo 1'de farklı balık türlerinin sperm kalitelerinin belirlenmesinde kullanılan yeni yöntem ve teknolojiler sunulmuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yeni yöntem ve teknolojiler, sperm kalitesini değerlendirmede araştırmalara yeni perspektifler kazandırmakta ve su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoteknolojik uygulamalara kapı aralamaktadır. Bu teknikler, erkek fertilitésinin kritik olduğu veya kriyoprezervasyon gibi uygulamalara maruz kalan spermlerin değerlendirilmesinde ve toksikolojik testlerde kullanımında kişiye özel sperm seçimine olanak tanımaktadır. Moleküler özelliklere dayalı sperm seçimi, ideal sperm profiline sahip hücrelerin zenginleştirilmesini sağlayarak üreme başarısını artırabilir ve yüksek kaliteli yavru elde etme olasılığını yükseltebilir.

KAYNAKÇA

- Aisyah, D., Soeprijanto, A., & Kilawati, Y. (2017). Influence of different pulse length towards motility and viability of ornamental Japanese carp (*Cyprinus carpio* var. *koi*) sperm through electroporation method. *The Journal of Experimental Life Science*, 7(1), 27-31. <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2017.007.01.05>.
- Alavi, S. M. H., Cosson, J., Bondarenko, O., & Linhart, O. (2019). Sperm motility in fishes: (III) Diversity of regulatory signals from membrane to the axoneme. *Theriogenology*, 136, 143-165. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.007>
- Beckham, J., Alam, F., Omojola, V., Scherr, T., Guitreau, A., Melvin, A., ... & Monroe, W. T. (2018). A microfluidic device for motility and osmolality analysis of zebrafish sperm. *Biomedical Microdevices*, 20(3), 67. <https://doi.org/10.1007/s10544-018-0299-2>
- Bizuayehu, T. T., & Babiak, I. (2014). MicroRNA in teleost fish. *Genome Biology and Evolution*, 6(8), 1911-1937. <https://doi.org/10.1093/gbe/evu151>
- Bobé, J., & Labbé, C. (2010). Egg and sperm quality in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 535-548. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.011>
- Cabrera, E., Martínez-Páramo, S., Gavaia, P. J., Riesco, M. F., Valcarce, D. G., Sarasquete, C., ... & Robles, V. (2014). Factors enhancing fish sperm quality and emerging tools for sperm analysis. *Aquaculture*, 432, 389-401. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.04.034>
- Ciereszko, A. (2008). Chemical composition of seminal plasma and its physiological relationship with sperm motility, fertilizing capacity, and cryopreservation success in fish. In S. M. H. Alavi, J. Cosson, G. Coward, & G. Rafiee (Eds.), *Fish spermatology* (pp. 215-240). Oxford: Alpha Science International Ltd.
- Courant, F., Antignac, J. P., Monteau, F., & Le Bizec, B. (2013). Metabolomics as a potential new approach for investigating human reproductive disorders. *Journal of Proteome Research*, 12(6), 2914-2920. <https://doi.org/10.1021/pr400207t>
- Cox, J., & Mann, M. (2007). Is proteomics the new genomics? *Cell*, 130(3), 395-398. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.07.032>
- Daneluz, L. O., Acosta, I. B., Nunes, L. S., Blodorn, E. B., Domingues, W. B., Martins, A. W. S., Dellagostin, E. N., Rassier, G. T., Corcini, C. D., Fróes, C. N., Komninou, E. R.,

- Varela, A. S., Jr, & Campos, V. F. (2020). Efficiency and cell viability implications using tip type electroporation in zebrafish sperm cells. *Molecular Biology Reports*, 47(8), 5879-5887. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05658-2>
- Dietrich, M. A., Nynca, J., & Ciereszko, A. (2019). Proteomic and metabolomic insights into the functions of the male reproductive system in fishes. *Theriogenology*, 132, 182-200. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.04.030>
- Dzyuba, B., Bondarenko, O., Fedorov, P., Gazo, I., Prokopchuk, G., & Cosson, J. (2017). Energetics of fish spermatozoa: The proven and the possible. *Aquaculture*, 472, 60-72. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.05.038>
- Fauvel, C., Suquet, M., & Cosson, J. (2010). Evaluation of fish sperm quality. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(5), 636-643. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01529.x>
- Fechner, S., Alvarez, L., Bönigk, W., Müller, A., Berger, T. K., Pascal, R., Trötschel, C., Poetsch, A., Stölting, G., Siegfried, K. R., Kuhl, H., Seifert, R., & Kaupp, U. B. (2015). A K⁺-selective CNG channel orchestrates Ca²⁺ signalling in zebrafish sperm. *eLife*, 4, e07624. <https://doi.org/10.7554/eLife.07624>
- Gallego, V., & Asturiano, J. F. (2019). Fish sperm motility assessment as a tool for aquaculture research: A historical approach. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 697-724. <https://doi.org/10.1111/raq.12252>
- Gallego, V., Herranz-Jusado, J. G., Rozenfeld, C., Pérez, L., & Asturiano, J. F. (2018). Subjective and objective assessment of fish sperm motility: When the technique and technicians matter. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(5), 1457-1467. <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0505-1>
- Hess, H. N., Strader, M. E., Montague, H. R., Bruce, T. J., Aguilar, G. L., Sørensen, S. R., ... & Butts, I. A. (2024). Molecular biomarkers for sperm quality in an economically important fish: Blue catfish, *Ictalurus furcatus*. *Aquaculture*, 579, 740220. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740220>
- Herraez, M. P., Ausió, J., Devaux, A., González-Rojo, S., Fernández-Díez, C., Bony, S., Saperas, N., & Robles, V. (2017). Paternal contribution to development: Sperm genetic damage and repair in fish. *Aquaculture*, 472, 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.031>
- Hourcade, J. D., Perez-Crespo, M., Fernandez-Gonzalez, R., Pintado, B., & Gutierrez-Adan, A. (2010). Selection against spermatozoa with fragmented DNA after postovulatory mating depends on the type of damage. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 8, 9. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-8-9>
- Ingermann, R. (2008). Energy metabolism and respiration in fish spermatozoa. In S. M. H. Alavi, J. Cosson, K. Coward, & G. Rafiee (Eds.), *Fish spermatology* (pp. 241–266). Oxford, UK: Alpha Science International Ltd.
- Johnson, A., Bassham, B., Lipshults, L. I., & Lamb, D. J. (1990). Methodology for the optimized sperm penetration assay. In B. A. Keel & B. W. Webster (Eds.), *Handbook of the laboratory diagnosis and treatment of infertility* (pp. 135–147). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Junior, M. Z., Handayani, S., & Supriatna, I. (2005). Kualitas sperma ikan Batak (*Tor soro*) hasil kriopreservasi semen menggunakan dimetilsulfoksida (DMSO) dan gliserol 5, 10

- dan 15%. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 4(2), 145–151.
<https://doi.org/10.19027/jai.4.145-151>
- Li, P., Hulak, M., Koubek, P., Sulc, M., Dzyuba, B., Boryshpolets, S., Rodina, M., Gela, D., Manaskova-Postlerova, P., Peknicova, J., & Linhart, O. (2010). Ice-age endurance: The effects of cryopreservation on proteins of sperm of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Theriogenology*, 74(3), 413–423. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.02.024>
- Locatello, L., Rigoni, G., Soriano, M. E., Rasotto, M. B., & Poli, F. (2020). Going beyond conventional parameters to unveil sperm quality in fish: The use of fibre optic technology to assess mitochondrial respiratory performance. *Biology Open*, 9(7), bio053306. <https://doi.org/10.1242/bio.053306>
- Lorenzo-Rebenaque, L., Munoz-Baquero, M., Diretto, G., Frusciantè, S., García-Párraga, D., Marin, C., ... & Marco-Jiménez, F. (2024). Metabolomic profiling of blood and seminal plasma in the small-spotted catshark (*Scyliorhinus canicula*): A comparative study of aquarium and wild populations in the Valencia region. *Global Ecology and Conservation*, 52, e02964. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02964>
- Mansour, N., McNiven, M. A., & Richardson, G. F. (2006). The effect of dietary supplementation with blueberry, α -tocopherol or astaxanthin on oxidative stability of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) semen. *Theriogenology*, 66(2), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.12.004>
- Musatova, I., Dzyuba, B., Boryshpolets, S., Iqbal, A., Sotnikov, A., Kholodnyy, V., & Dzyuba, V. (2025). Evaluation of carp sperm respiration: Fluorometry with optochemical oxygen sensor versus polarography. *Fish Physiology and Biochemistry*, 51(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s10695-024-01569-2>
- Myers, J. N., Dyce, P. W., Chatakondi, N. G., Gorman, S. A., Quiniou, S. M. A., Su, B., Peatman, E., Dunham, R. A., & Butts, I. A. E. (2020). Analysis of specific mRNA gene expression profiles as markers of egg and embryo quality for hybrid catfish aquaculture. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 243, 110674. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110674>
- O'Brien, J., Hayder, H., Zayed, Y., & Peng, C. (2018). Overview of microRNA biogenesis, mechanisms of actions, and circulation. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 402. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00402>
- Odet, F., Gabel, S., London, R. E., Goldberg, E., & Eddy, E. M. (2013). Glycolysis and mitochondrial respiration in mouse LDHC-null sperm. *Biology of Reproduction*, 88(4), 95. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.106633>
- Petrunkina, A. M., Waberski, D., Günzel-Apel, A. R., & Töpfer-Petersen, E. (2007). Determinants of sperm quality and fertility in domestic species. *Reproduction*, 134(1), 3–17. <https://doi.org/10.1530/REP-06-0299>
- Priyadarshi, H., Das, R., Biswal, S., Acharya, P. C., Anand, V., Maurya, S., ... & Mishra, V. K. (2025). Profiling of charge characteristics and effect of pH on charge dynamics in cyprinid milt. *Aquaculture*, 596, 741734. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741734>
- Qian, X., Ba, Y., Zhuang, Q., & Zhong, G. (2014). RNA-seq technology and its application in fish transcriptomics. *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, 18(2), 98–110. <https://doi.org/10.1089/omi.2013.0110>

- Rahi, D., Dzyuba, B., Policar, T., Malinovskiy, O., Rodina, M., & Dzyuba, V. (2021). Bioenergetic pathways in the sperm of an under-ice spawning fish, burbot (*Lota lota*): The role of mitochondrial respiration in a varying thermal environment. *Biology*, *10*(8), 739. <https://doi.org/10.3390/biology10080739>
- Rikianto, D. A., Soeprijanto, A., & Kilawati, Y. (2017). The effect of electroporation method towards the motility and viability of Java barb fish (*Puntius javanicus*) sperm. *The Journal of Experimental Life Science*, *7*(1), 11–16. <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2017.007.01.3>
- Robles, V., Valcarce, D. G., & Riesco, M. F. (2019). Non-coding RNA regulation in reproduction: Their potential use as biomarkers. *Non-coding RNA Research*, *4*(2), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ncrna.2019.05.001>
- Selvam, M. K. P., Agarwal, A., Pushparaj, P. N., Baskaran, S., & Bendou, H. (2019). Sperm proteome analysis and identification of fertility-associated biomarkers in unexplained male infertility. *Genes*, *10*(7), 522. <https://doi.org/10.3390/genes10070522>
- Shaliutina, A., Hulak, M., Gazo, I., Linhartova, P., & Linhart, O. (2013). Effect of short-term storage on quality parameters, DNA integrity, and oxidative stress in Russian (*Acipenser gueldenstaedtii*) and Siberian (*Acipenser baerii*) sturgeon sperm. *Animal Reproduction Science*, *139*(1–4), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.04.007>
- Sullivan, C. V., Chapman, R. W., Reading, B. J., & Anderson, P. E. (2015). Transcriptomics of mRNA and egg quality in farmed fish: Some recent developments and future directions. *General and Comparative Endocrinology*, *221*, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2015.01.022>
- Shulaev, V. (2006). Metabolomics technology and bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics*, *7*(2), 128–139. <https://doi.org/10.1093/bib/bbl012>
- Viant, M. R., Rosenblum, E. S., & Tjeerdema, R. S. (2003). NMR-based metabolomics: A powerful approach for characterizing the effects of environmental stressors on organism health. *Environmental Science & Technology*, *37*(21), 4982–4989. <https://doi.org/10.1021/es034281x>
- Wang, X. D., & Wolfbeis, O. S. (2014). Optical methods for sensing and imaging oxygen: Materials, spectroscopies and applications. *Chemical Society Reviews*, *43*(10), 3666–3761. <https://doi.org/10.1039/C4CS00039K>
- Wang, F., Yang, W., Ouyang, S., & Yuan, S. (2020). The vehicle determines the destination: The significance of seminal plasma factors for male fertility. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(22), 8499. <https://doi.org/10.3390/ijms21228499>
- Zhang, H., Liu, Y., Zhou, L., Xu, S., Ye, C., Tian, H., ... & Hu, G. (2020). Metabonomic insights into the sperm activation mechanisms in ricefield eel (*Monopterus albus*). *Genes*, *11*(11), 1259. <https://doi.org/10.3390/genes11111259>
- Zhang, J., Mu, X., Xia, Y., Martin, F. L., Hang, W., Liu, L., Tian, M., Huang, Q., & Shen, H. (2014). Metabolomic analysis reveals a unique urinary pattern in normozoospermic infertile men. *Journal of Proteome Research*, *13*(6), 3088–3099. <https://doi.org/10.1021/pr500057d>.

Tablo 1. Yeni yöntem ve teknolojilerin balık sperm kalitesinin değerlendirilmesinde kullanımı

Balık türü	Yöntem/Teknoloji	Ölçülen parametre	Yöntem/Teknoloji yararı	Araştırmacı
<i>Danio rerio</i>	Elektrofizyolojik/Patch-clamp Tekniği	CNGK (K ⁺ seçici siklik nükleotid-kapılı kanal)	Spermin moleküler ve elektrofizyolojik durumunun ölçülmesi ve sperm kalitesini daha derinlemesine değerlendirilmesi	Fechner ve ark. (2015)
<i>Puntius javanicus</i>	Elektroporasyon (Gen Pulser)	Sperm motilite ve canlılık	Sperm kalitesinin belirlenmesi	Rikianto ve ark. (2017)
<i>Cyprinus carpio</i>	Elektroporasyon	Sperm motilite ve canlılık	Sperm kalitesinin belirlenmesi	Aisyah ve ark. (2017)
<i>Danio rerio</i>	Mikroakışkan Cihaz (PDMS + cam)	sperm motilitesi ve ortam osmolalitesi	Hızlı, hassas ve küçük hacimle ölçüm	Beckham ve ark. (2018)
<i>Monopterus albus</i>	LC-MS/MS	Enerji metabolizması, sperm motilitesi	Metabolik profilden sperm sağlığı ve performansı	Zhang ve ark. (2020)
<i>Zosterisessor ophiocephalus</i>	Mikroide Fiber Optik O ₂ Sensörü (Respirometri)	Mitochondrial O ₂ tüketim	Sperm solunumunun sensörle ölçümü ve karşılaştırılması	Locatello ve ark. (2020)
<i>Danio rerio</i>	Elektroporasyon	ROS ve mitokondri fonksiyonu, Plazma membran hasarı	Sperm kalitesini daha derinlemesine değerlendirilmesi	Daneluz ve ark. (2020)
<i>Lota lota</i>	Clark oksijen elektrotları, Oxygraph-2k	O ₂ Tüketim Ölçümü	Enerji kaynaklarının tespiti	Rahi ve ark. (2021)
<i>Larimichthys polyactis</i>	LC-MS/MS	Sperm ve seminal plazmadaki metabolit profillerini (enerji metabolizması, antioksidan seviyeleri vb.)	Sperm kalitesini daha derinlemesine değerlendirilmesi	Lorenzo-Rebenaque ve ark. (2024)
<i>Cyprinus carpio</i>	Floresometrik/Oksijen Sensörlü Respirometri	OCR (metabolik durum)	Sperm solunumunun optokimyasal sensörle ölçümü ve karşılaştırılması	Musatova ve ark. (2025)
<i>Labeo rohita</i>	Elektrokinetik mobilite ölçümü/zeta potansiyeli	Sperminin membran yükünü ve yüzey elektriğini nicel olarak ölçümü	Sperm hareketliliği, mitokondri aktivitesi ve hücre bütünlüğü üzerinden sperm kalitesini etkileyen parametrelerin anlaşılmasına	Priyadarshi ve ark. (2025)

TRABZON GANİTA SAHİLİ'NDE KULLANICI ODAKLI YERİNDE GÖZLEM ÇALIŞMALARI

Öğrenci, AYŞE RÜVEYDA AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, ayseruveydaaydin@gmail.com - 0009-0004-3589-5294

Öğrenci, DİLAY ONURLUBAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, dilayonurlubas@hotmail.com – 0009-0003-3870-8549

Öğrenci, KÜBRA GÜLER

Karadeniz Teknik Üniversitesi, kubraggulerr@gmail.com – 0009-0000-5285-3222

Doç. Dr. HARE KILIÇASLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, hkilicaslan@ktu.edu.tr - 0000-0002-6113-7962

ÖZET

Kentler, toplumun tarihi ve yeri deneyimleyebilmelerini sağlayan barınma, ulaşım, çalışma, güvenlik, eğlence gibi gereksinmelerini karşılayan gelişime açık fiziksel, sosyal ve kültürel mekânlardır. Kıyıları ise kentlerin oluşumundaki en önemli başlangıç alanlarından biridir. Trabzon, oluşumu kıyıda başlayan ve zamanla gelişen bir kent olarak kullanıcılarına kıyıları sayesinde deniz ile etkileşim kurma imkânı sağlayacak potansiyeli sunmaktadır. TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012401013 başvuru numaralı projeden geliştirilen bu çalışmada, Trabzon için tarihi, sosyal ve kültürel bir öneme sahip olan Ganita Sahili'nin geçmişteki durumu ile mevcut gerçekleştirilen çevre ve kıyı düzenlemesini içeren rekreasyon çalışmalarının kullanıcılar üzerindeki etkileri ve sunduğu imkânların değerlendirilmesi ele alınmaktadır. Bu doğrultuda, sahil düzenlemesinin kullanıcı değerlendirmeleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Araştırmanın uygulama süreci, yerinde yapılan gözlem çalışmalarından oluşmaktadır. Gözlem çalışmaları, “donatılar”, “eylemler” ve “öneriler” olmak üzere üç ana başlık altında yürütülmüştür. Bu süreç, alanın mevcut haritası üzerinde tanımlanan farklı bölgelerde, çeşitli gün ve saat aralıklarında gerçekleştirilen gözlemler ve bu gözlemlere ilişkin notların açıklanması şeklinde ilerlemiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, alanda bulunan donatılar ve eylem alanlarının sunduğu olanaklar değerlendirilerek; bu değerlendirme sonucunda, alanda ihtiyaç duyulabilecek eksiklikler belirlenerek çeşitli öneriler geliştirilmiştir. **Anahtar Kelimeler:** Kıyı kullanımı, sahil düzenlemesi, rekreasyon alanı, yerinde gözlem çalışmaları, Trabzon Ganita sahili.

USER-ORIENTED FIELD OBSERVATIONS CONDUCTED AT THE GANITA COASTAL AREA IN TRABZON

ABSTRACT

Cities are dynamic physical, social, and cultural spaces that meet essential needs such as housing, transportation, work, safety, and recreation, enabling society to experience history and place. Coastal areas, in turn, represent some of the most significant origin points in the formation of cities. Trabzon is a city whose development began along the coastline and has evolved over time, offering its users the potential to interact with the sea through its shores. This study, developed from the project numbered 1919B012401013 and supported by TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program, focuses on evaluating the impacts and offerings of the recent environmental and coastal recreational arrangements on the Ganita Coast, which holds historical, social, and cultural significance for Trabzon. The main aim of the research is to reveal the effects of coastal planning on user perceptions and experiences. The fieldwork of the study consists of on-site observations, conducted under three main categories: facilities, activities, and recommendations. This process involved conducting observations and recording detailed field notes across various zones defined on the current site map, at different times and days. Based on the collected data, the facilities and activity areas available in the space were evaluated in terms of the opportunities they offer. As a result, potential deficiencies were identified, and several recommendations were proposed to enhance the site.

Keywords: Coastal use, coastal planning, recreational area, on-site observation studies, Trabzon Ganita coast.

1. GİRİŞ

Tarih boyunca pek çok kent birbirinden farklı şekilde oluşmuş ve gelişim göstermiştir. Kentler, belirli bir kimlik taşıyan, barınma, ulaşım, beslenme, eğlence ve dinlenme gibi temel gereksinimlere yanıt veren ve kullanıcılarına çeşitli işlevler sunan mekânsal sistemlerdir. Hayta'ya (2016) göre, kent kavramı, kentli insanı çevreleyen ve ondan etkilenen tüm boyutları içermektedir. Kent kavramına yönelik farklı tanımlar incelendiğinde yönetim sınırları, nüfus yoğunluğu, ekonomik ya da sosyolojik yönü ölçüt alınarak bu çerçevede yapıldığı görülmektedir (Uğurlu, 2010). Söz konusu tanımlar, kentlerin oluşum sürecinde insanın planlayıcı ve dönüştürücü etkisinin ön planda olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, doğal unsurlar, iklim koşulları ve coğrafi özellikler gibi insandan bağımsız faktörler de tarih boyunca kentlerin kuruluş ve gelişim dinamiklerini şekillendiren önemli belirleyiciler arasında yer almıştır.

Bu farklılaşmayı belirleyen en güçlü çevresel etmenlerden biri suyun varlığıdır. Yerleşim alanlarının oluşumunda suyun sağladığı önemli etkiler mevcuttur. Sulama ve içme suyu ihtiyacı, su ulaşımı ve buradan doğan ticari ilişkiler, sudan sağlanan enerji ve suyun oluşturduğu sınırlar ile sağlanan savunma bu önemli etkilerden bazılarıdır. Araştırmalar ilk büyük kent topluluklarının Nil Vadisi, Fırat-Dicle havzası, İndüs Nehri çevresi ve Akdeniz kıyıları gibi büyük nehirlerin beslediği verimli ovalarda ortaya çıktığını göstermektedir (Uğurlu, 2010). Bu süreçte belirleyici bir rol üstlenen su ögesi, kentlerin yer seçimi ve ihtiyaçlarının yanı sıra

gelişim ve büyüme sürecinde de etkili olmuştur. Benzer şekilde kıyı şeritleri de kent yerleşimlerinin konumlanmasında ve gelişim yönlerinde tarihsel olarak belirleyicidir. Böylece zaman içinde oluşan sahil şeritleri, rıhtımlar ve limanlar kent kimliği için güçlü öğeler haline gelmiştir. Kostof (1992), kentsel formun karakterini belirlemede arazi özellikleri ve suyla kurulan temasın belirleyici olduğunu vurgulamaktadır.

Kıyılar, kara ile su arasındaki bağlantı noktası olmaları ve suya duyulan temel ihtiyaç nedeniyle tarih boyunca yerleşim için en çok tercih edilen alanlar arasında yer almıştır. Kıyılar, konumu itibarı ile rekreasyonel zaman geçirmek için uygun olan kent ve toplum kaynaşmasını sağlayan, dinlenme ve eğlenme gibi ihtiyaçları karşılayabilen su ve kara parçasının kesiştiği bölgeler olarak adlandırılmaktadır (Yılmaz, 2007). “Kıyı” kavramı yalnızca deniz ve karanın birleşim noktası değil, her türlü su kütlelerini çevreleyen kara parçalarını kapsayan daha geniş bir alanı ifade etmektedir (Çelik, 2015). Bunun yanında, denizler, nehirler ve göller gibi su kütleleriyle sınır oluşturan bu doğal alanlar, zengin biyoçeşitlilikleri ve doğal kaynak potansiyelleriyle de öne çıkar. Hem fiziksel hem de fiziksel olmayan unsurlarla iç içe geçmiş olan kıyılar, bu etkileşimler sayesinde ulusal ve uluslararası ölçekte merkezi bir konuma sahiptir. Ayrıca, insanların sosyalleştiği ve kentlerin ekonomik ile kültürel odak noktalarından biri olarak da değerlendirilmektedir (Konuk, 2018). Dolayısıyla, Işık ve Demirel’in (2016), Breen ve Rigby’den (1994) aktardığına göre, kıyı alanlarının nitelikleri, kıyı kentleşmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Kıyı alanlarının niteliklerinin artırılması amacıyla bu alanlarda düzenleme ve rekreasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu düzenlemeler; kıyı alanlarının sosyal, erişilebilirlik, psikolojik ve estetik yönden değerini artırmayı amaçlamaktadır. Erkök (2002), kıyı kentlerindeki dönüşüm ve yenilemelerde koruma, turizm ve rekreasyon işlevlerinin düşünüldüğünü belirtmektedir. Sağlık (2010), kıyıların yeniden tasarlanmasının asıl amaçlarının, halkın kıyıya ulaşımının engellendiği, bakımsızlık nedeniyle harap olmaya yüz tutmuş tarihi kıyı kesimlerinin yenilenmesi ve bu alanlara hayat kazandıracak şekilde yeniden ekonomik oluşumu sağlamak olduğuna değinmektedir. Ancak kentlerin gelişim sürecinde artan inşaat faaliyetleri ile ulaşım ve yapısal sistemlerin, kentsel mekânda fiziksel ve sosyal dönüşümlere neden olduğu belirtilmektedir (Özkan & Dedeoğlu Özkan, 2024). Bu nedenle yapılacak düzenleme ve rekreasyon çalışmaları; ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutları açısından bütüncül bir yaklaşımla planlanmalı ve gerçekleştirilmelidir.

Rekreasyonel amaçlı düzenlemelerde, mevcut kıyı kullanımının eğlenme, dinlenme ve park gibi yeşil alanlara dönüştürülmesi söz konusudur. Bu tür kıyı alanlarında yürüyüş, oturma, dinlenme, manzara seyretme gibi her kesimden kent insanına ve farklı yaş gruplarına yönelik rekreasyonel etkinlikler yer almaktadır (İnan, 2005). Rekreasyon, yenilenme, yeniden yaratılma veya yeniden yapılanma anlamına gelen Latince “recreation” kelimesinden gelmektedir. Rekreasyon, kişiyi zorunlu iş ve etkinliklerinden sonra yenileyen, dinlendiren ve gönüllü olarak yapılan faaliyetler olarak açıklanmaktadır (Sağlık, 2010). Işık ve Demirel (2016), kıyı bölgelerinin (sahil şeridi, kıyı alanları ve denizler) rekreasyonel gereksinimlere cevap verebilecek önemli kaynaklar olduğuna, özellikle kıyı kentlerinde rekreasyonel etkinliklerin kıyı alanlarına kaydırılmasının kent insanına büyük avantajlar sunduğunu vurgulamaktadır. Su öğesinin insanlar üzerinde psikolojik yönden rahatlatıcı ve dinlendirici bir etkisi bulunmaktadır. Bu etkilerinin yanında birçok alternatif rekreasyon etkinliğine de olanak sağlamaktadır (Altunöz vd., 2014). Günaydın (2011), kıyı alanlarında gerçekleştirilebilecek rekreasyonel

faaliyetleri çeşitli başlıklar altında sınıflandırmıştır. Bu kapsamda; özel bir donanım gerektirmeyen basit aktiviteler, zihinsel etkinlikler, çeşitli spor faaliyetleri hem aktif hem de pasif katılım imkânı sunan sanatsal etkinlikler (müzik, resim, dans), bireysel hobiler, oyunlar, dinlenme ve rahatlama olanakları, sosyal etkileşim odaklı aktiviteler ile kamu kurumları ve sivil toplum kuruluşları tarafından düzenlenen insani hizmetler ve açık hava etkinlikleri bu sınıflandırmaya dâhildir. Kıyıları bir yandan rekreasyonel amaçlı düzenlenirken, diğer yandan da karada yapılan düzenlemelerin denize yapacağı muhtemel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Karada ve denizde kurulacak tesisler çevreyle barışık olmalıdır. Bunun sağlanması, yasal düzenlemeler ve uygulanmadaki başarıya bağlı olarak biçimlenmektedir (Balık, 2017).

Kıyı alanlarının düzenlenmesinde, sundukları imkânlar ve suyla ilişkili aktiviteler kadar, bu alanların kentsel bütünlüğün bir parçası olduğu göz önünde bulundurularak kentsel açık alan niteliğiyle birlikte ele alınması gerekmektedir (Oktay vd., 2015). Kentsel açık alanlar; yapılaşmanın bulunmadığı, rekreasyonel etkinliklere ve çeşitli kamusal kullanımlara olanak tanıyan alanlardır. Kent dokusunun önemli bir bileşeni olan bu alanlar, mimari yapılar ve ulaşım sistemleri dışında kalan fiziksel açıklıklar olarak tanımlanmaktadır. Bu alanlar, kent içinde yapısal boşluklar olmasının yanı sıra çeşitli kentsel sorunlara çözüm üretme potansiyeli taşıyan işlevsel kentsel bileşenler olarak da değerlendirilmektedir. Bu potansiyeller arasında; gerçekleştirilen rekreasyon uygulamalarıyla sağlanan estetik katkı, kentteki yapısal yoğunluğa karşı geliştirilen mekânsal denge, mikroklimatik düzenlemeler yoluyla oluşturulan çevresel konfor, kent içi yaya ve araç sirkülasyonuna yön verici etkisi, rekreasyonel gereksinimlerin karşılanmasına yönelik sunduğu fiziksel olanaklar, bireyler üzerinde yarattığı psikolojik iyileşme, sosyal etkileşim alanları oluşturma kapasitesi, gürültü kirliliğini azaltıcı etkisi ile toprak ve su kaynaklarının korunmasına katkı sağlaması sayılabilir (Gül & Küçük, 2001).

Buradan hareketle bu çalışmada Trabzon için tarihi, sosyal ve kültürel bir öneme sahip olan Ganita Sahili'nin geçmişteki durumu ile mevcut gerçekleştirilen çevre ve kıyı düzenlemesini içeren rekreasyon çalışmalarının kullanıcılar üzerindeki etkileri ve sunduğu imkânların değerlendirilmesine odaklanılmaktadır. TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012401013 başvuru numaralı projeden geliştirilen bu araştırmanın uygulama süreci, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu tarafından E-26014373-050.01.04-559119 sayılı ve 16.09.2024 tarihli bilgileri ile alınan etik kurul izniyle gerçekleştirilmiştir.

2. TRABZON GANİTA SAHİLİ

Doğal kıyı oluşumuna sahip ve denizle doğrudan teması bulunan yerleşimler, liman kentleri olarak tanımlanmakta; bu özellikleri doğrultusunda stratejik, ekonomik ve sosyal açılardan önemli roller üstlenmektedir. Trabzon kenti de, sahip olduğu coğrafi konum ve kıyı yapısıyla bu tanıma uyan, tarih boyunca Karadeniz liman ticaretinde etkin bir rol oynamış önemli merkezlerden biridir. Özellikle erken dönemlerde bölgenin en işlek limanlarından biri olarak öne çıkmış, bu işleviyle yalnızca kentsel mekânın genişlemesine değil, aynı zamanda ekonomik, siyasi, askerî, sosyal ve kültürel gelişimine de önemli katkılar sağlamıştır (Bayartan, 2007). Kent, deniz kıyısından başlayarak yapılaşma göstermiş ve hala da gelişimine devam etmektedir (Uzunali ve Acar, 2020). Bu gelişim sürecinde önemli rol oynayan kıyı alanları zamanla kullanıcılar tarafından yerleşim alanı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda

nüfusu artış gösteren bu alanların sürdürülebilir şekilde planlanması gerekliliği ortaya konmuştur (Özdemir Işık & Odacı Karadeniz, 2023). Kentleşme hızıyla beraber değişen kent görseli kullanıcının algısını etkilemektedir. Süreç içinde kullanıcıların estetik ihtiyaçlarına cevap verecek bir planlamanın yapılması önem kazanmaktadır (Çağlayan Kaptanoğlu, 2006). Bu sebeple işlevsellik gözetilirken görsel tatmin de eş zamanlı olarak düşünülmelidir (Aydınlı, 1986). Kentleşme süreci kapsamında hızlı kentleşmenin kontrol altına alınamaması sebebiyle Lambert tarafından 1938 yılında Trabzon için hazırlanan kent planı, düzenlenen yarışma sonucunda 1970 yılında uygulanmak üzere hazırlanan imar planı ile revize edilmiştir. 1987 yılında ihale sonucu Karadeniz Sahil Yolu Projesi ile başlayan ve 1997 yılına kadar süren dolgu çalışmaları sonucu Beşirli Mahallesi'nin deniz ile teması koparılmıştır. 2007 yılında yol çalışmasının tamamlanması ile oluşan alanlar için rekreasyon çalışmalarına başlanarak kullanıcıların deniz ile temasının tekrar kurulması amaçlanmıştır. 2010 yılında Beşirli Mahallesi'nin yanında bulunan Akyazı sahili, Akyazı Şenol Güneş Spor Kompleksi Projesi olarak doldurulmaya başlanmıştır. 2015 yılında bu projenin tamamlanması ile stadyum açılışı yapılmıştır. Bu açılış sonrasında alanın devamı niteliğinde olan kıyı şeridinde Gülcemal Projesi için dolgu çalışmaları yapılmaya başlanmıştır (Uzunali ve Acar, 2020). Bu süreç devam ederken 2019 yılında Ganita sahil düzenlemesi projesi başlatılmıştır. "Ganita" adıyla anılan bu alan (Görsel 1, Görsel 2) tarihte Trabzon kenti için önemli bir yer tutmuştur. Ganita'nın görsel olarak limana gelen gemiciler tarafından masaya benzetilmesi, diğer bir görüşle de kentin sur duvarlarının dört köşeli yapısı sebebiyle masaya benzerliğinden dolayı bu ismi almış olabileceği düşünülmektedir (Emir, 2022). Farklı bir görüş olarak Ganita isminin, Türkçe'de "güzel mekân" anlamındaki "Kanita" kelimesinden (Kalın, 2021) geldiği düşünülmektedir.

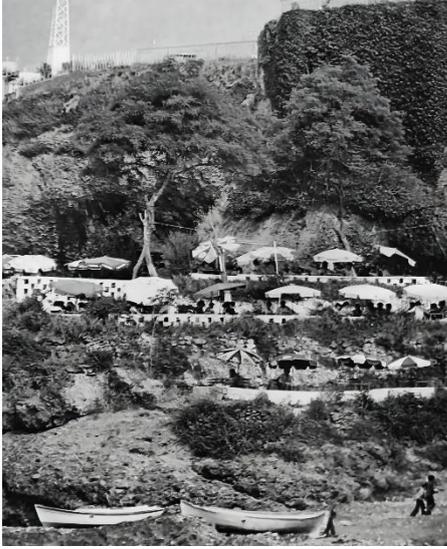


Görsel 1. 1800'lü yıllarda Trabzon Limanı
(URL 1)

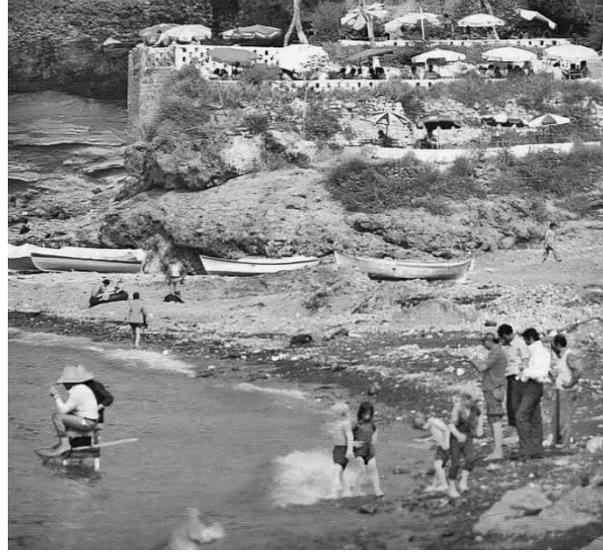


Görsel 2. Kemer kaya mahallesinden
Güzelhisar ve Ganita, 1890 (URL 1)

Ganita'da başlangıçta Rum bir aile tarafından alanın düzenlenmesi ile kurulan bir çay bahçesi bulunmaktadır. Rumların göçmesi ile Türk bir aileye devredilen bu çay bahçesi yapılan yeni düzenlemeye kadar Ganita'ya kimlik katan en önemli mekânlardan biri olmuştur (Kalın, 2021).



Görsel 3. Ganita çay bahçesi (URL 2)



Görsel 4. Ganita çay bahçesi ve kıyıda denize giren insanlar (URL 2)

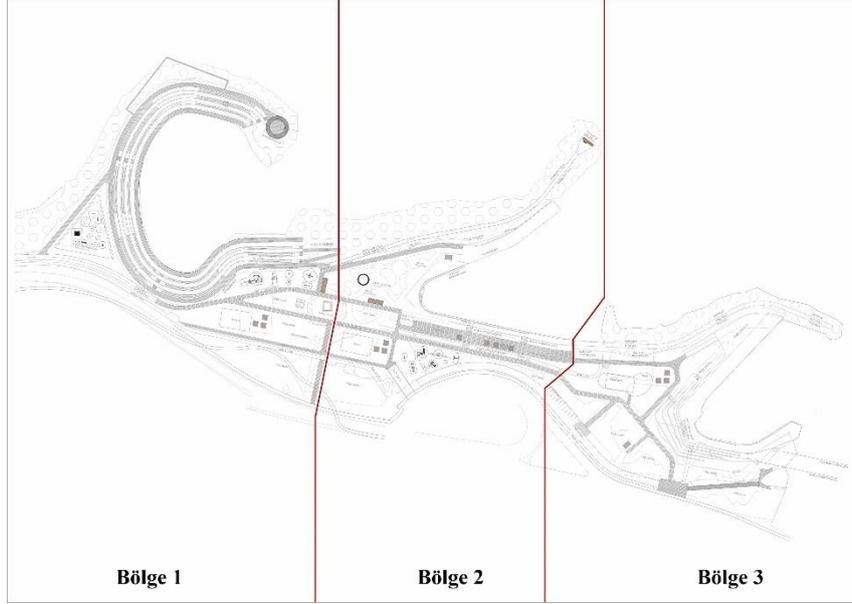
Ganita, kentliye deniz ile yakın temas imkânı sağlaması ile geçmişten bugüne dek dinlenme, eğlenme, buluşma, suyla birebir temas sağlayarak yüzme, sanat, kültür, eğitim ve üretim mekânı olarak kullanılmış olup, gelişerek kullanımına devam edilmektedir (Kalın, 2021). Zaman içinde Karadeniz Sahil Yolu projesi için kıyı dolgu çalışmalarını yapılması doğal kıyı oluşumunun tahribata uğramasına neden olmuştur (Üçüncü, 2014). Bu alanda artan trafik yoğunluğu sebebiyle sahile ulaşımın zorlaşması Ganita'nın kullanımında azaltmaya neden olmuştur. Alanın bakım, temizlik, aydınlatma ve güvenlik açısından yetersiz oluşu bu azalmayı pekiştirmiştir. Bunun üzerine, dönemin belediye başkanı "Ganita'yı eski güzel günlerine döndürmeyi amaçlıyoruz" diyerek çalışmaların başlayacağını duyurmuştur. 2019 yılında ise, temelde halkın kıyı şeridi ile yeniden etkileşimini sağlamak amacıyla Ganita Sahil Düzenlemesi Projesi'ne başlanmıştır. Ganita, "Ortahisar, Faroz-Ganita Arası ve Mumhane Önü Kentsel Tasarım Projesi" adıyla 2019-2021 yılları arasında ECO.laud tarafından tasarlanarak (URL 3) 2023 yılında hizmete açılmıştır.



Görsel 5. ECO.laud tarafından tasarlanan Ganita projesi (URL 4)

3. BULGULAR

Araştırmanın uygulama süreci, yerinde yapılan gözlem çalışmalarından oluşmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde “donatılar”, “eylemler” ve “öneriler” olmak üzere üç ana başlık altında yürütülen gözlem çalışmalarına ilişkin veriler yer almaktadır. Gözlem çalışmaları, Ganita'nın mevcut haritası üzerinde tanımlanan farklı noktalarında, çeşitli gün ve saat aralıklarında gerçekleştirilmiştir (Görsel 6).



Görsel 6. Çalışma alanındaki bölgelerin gösterimi

Bölge 1’de yapılan gözlemler sonucunda, alanın farklı niteliklere sahip kullanıcı gruplarına kullanım imkânı sağlayan çeşitli donatılara sahip olduğu belirlenmiştir. Bu donatılar farklı özellikleri sayesinde eylem çeşitliliği sağlamaktadır. Bölgede bulunan donatılar; ahşap oturma alanları, çocuk oyun donatıları, anıt heykel, ahşap şezlonglar, amfi, elektrikli atlıkarınca ve balıkçı teknelerinden oluşmaktadır. Ahşap malzemeden yapılan oturma alanları, kullanıcıların bekleme, oturma, dinlenme, sohbet etme ve manzara seyri gibi aktivitelerini karşılamada işlevseldir. Çocuk oyun donatıları ise farklı yaş gruplarından birçok çocuğa oyun oynama ve vakit geçirme imkânı sunmaktadır. Ahşap şezlonglar denize yakın konumları sayesinde güneşlenme, deniz seyri ve dinlenme gibi aktivitelerde en yoğun kullanıma sahip donatılar olarak gözlenmiştir.

Amfi ise, alan içindeki balıkçı tekneleri ve sahne ile birlikte özellikle etkinlik zamanlarında en kalabalık kullanıcı grubuna sahiptir. Bu alanda oturma, yemek yeme, sohbet etme, konser ve söyleşi gibi etkinliklere katılma; bekleme, dinlenme ve manzara seyri gibi aktiviteler gerçekleştirilmektedir. Atlıkarınca ve anıt heykel donatıları ise görsellik açısından alana ilgiyi artırmakta ve çoğunlukla fotoğraf çekilme aktivitesine olanak sağlamaktadır. Atlıkarınca ve çocuk oyun donatılarının kullanımı genellikle küçük ve orta yaş grubundan kişiler tarafından yoğunlaşırken, ahşap şezlonglar ve amfi oturma alanları her yaşta kullanıcıya hitap etmektedir. Bunun yanı sıra, yapay donatı bulunmayan doğal yeşil alanlar kitap okuma, dinlenme, piknik yapma ve oyun oynama gibi aktiviteler için kullanılmakta; yollar ise evcil hayvan gezdirme,

yürüyüş ve bisiklet sürme gibi etkinliklere imkân sağlamaktadır. Gözlem çalışmalarına ilişkin veriler Çizelge 1’de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Bölge 1 Gözlem Çalışmalarına İlişkin Veriler

Ahşap oturma alanları: Bekleme ve dinlenme	Çocuk oyun donatıları: Oyun oynama ve vakit geçirme	Anıt heykel: Fotoğraf çekilme, oturma ve dinlenme
		
Ahşap şezlong oturma alanları: Dinlenme, kitap okuma, manzara seyri ve güneşlenme	Amfi: Oturma-dinlenme, sohbet etme, yemek yeme	Elektrikli atlı karınca: Eğlenme
		
Sahne: Oturma, film izleme, konser dinleme vb.	Balıkçı kafeteryası: Seyir, buluşma, dinlenme ve yemek yeme	Balıkçı teknesi: Seyir, gezinti, balık tutma
		

Bölge 2’de yapılan gözlemler sonucunda, alanın farklı kullanıcı gruplarına yönelik çeşitli donatılara sahip olduğu belirlenmiştir. Bölgede tespit edilen donatılar; çocuk oyun donatıları, seyir terası, banklar, kafeterya, pergole, stant, sonsuzluk çerçevesi, asansör, merdiven ve rampadan oluşmaktadır. Çocuk oyun donatıları, farklı yaş gruplarındaki çocukların oyun

oyunarak vakit geçirmelerine olanak sağlamaktadır. Kafeterya, kullanıcılar açısından hem seyir zevki sunan hem de buluşma ve dinlenme noktası işlevi gören bir alan olarak gözlemlenmiştir. Seyir terası, deniz manzarasının izlendiği bir nokta olarak fiziksel oturma düzeni ile kullanıcıların manzara deneyimini desteklemektedir. Sonsuzluk çerçevesi, kullanıcıların fotoğraf çekme ve anı oluşturma amacıyla yoğun olarak kullandığı bir donatıdır. Banklar, dinlenme ve buluşma noktası olarak kullanım imkânı sunmaktadır.

Asansör ve rampa, özellikle engelli bireyler için alana erişimi kolaylaştıran donatılar olarak öne çıkmaktadır; ayrıca rampa, bisiklet süren kullanıcıların da alanda hareketini kolaylaştırmaktadır. Merdiven ise şehir merkezinden alana ulaşımı kolaylaştıran bir bağlantı donatısı olarak işlev görmektedir.

Bölgede gözlemlenen eylemler; yürüyüş, oyun oynama, fotoğraf çekme, oturma, dinlenme, balık tutma, sohbet etme, bilgilendirme yapma, köpek dolaştırma, bisiklet kiralama, yemek yeme, piknik yapma, denizi seyretme ve bisiklet sürme gibi çeşitlilik göstermektedir. Yürüyüş eylemi özellikle alanda sık yapılan aktiviteler arasında yer alırken, çocuk oyun donatıları çocuklar tarafından yoğun şekilde kullanılmaktadır. Fotoğraf çekme aktivitesi, alanın çeşitli noktalarında gerçekleşmekte ve özellikle sonsuzluk çerçevesi kullanıcılar için bir odak noktası oluşturmaktadır. Oturma ve dinlenme eylemleri, banklar, kayalar ve çim alanlar gibi farklı alanlarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca balık tutma nadiren gözlenirken, sohbet etme eylemi hem sirkülasyon alanlarında hem de oturma alanlarında gerçekleşmektedir. Kurulan stantlar, kullanıcılara bilgilendirme yapmak amacıyla kullanılmakta; yollar ve açık alanlar ise köpek dolaştırma, bisiklet sürme ve piknik gibi etkinlikler için olanak sağlamaktadır. Kafeterya ve diğer alanlarda yemek yeme eyleminin gerçekleştirilebildiği, denizle yakın teması sayesinde birçok noktadan deniz seyri yapılabildiği gözlemlenmiştir. Gözlem çalışmalarına ilişkin veriler Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Bölge 2 Gözlem Çalışmalarına İlişkin Veriler

<p>Ahşap oturma alanları: Bekleme ve dinlenme</p> 	<p>Çocuk oyun donatıları: Oyun oynama ve vakit geçirme</p> 	<p>Sonsuzluk çerçevesi: Fotoğraf çekilme, oturma ve dinlenme</p> 
<p>Oturma ve dinlenme terası: Dinlenme, manzara seyri</p> 	<p>Satış birimleri: Alışveriş yapma</p> 	<p>Stant: Alışveriş yapma</p> 
<p>Asansör: Erişilebilirlik</p> 	<p>Merdiven: Erişilebilirlik</p> 	<p>Rampa: Erişilebilirlik, bisiklet sürme</p> 

Bölge 3'te yapılan gözlemler sonucunda, alanın farklı kullanıcı gruplarına çeşitli donatılar aracılığıyla kullanım imkânı sunduğu belirlenmiştir. Bölgede tespit edilen donatılar; ahşap şezlong oturma alanları, taş oturma alanları, restoran/kafe, amfi ve büfe şeklindedir. Ahşap şezlonglar, deniz manzarasına yakın konumları sayesinde uzanarak dinlenme, güneşlenme ve manzara seyri gibi aktiviteler için yoğun şekilde kullanılmaktadır. Taş oturma alanları, kullanıcıların kısa süreli oturma ve dinlenme ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Restoran/kafe, hem gölgelik sağlamakta hem de sosyal etkileşim amacıyla yemek yeme, sohbet ve dinlenme imkânı sunmaktadır. Büfe ise içecek ve hafif atıştırmalıklar için kullanıcıya olanak tanımaktadır. Amfi, alanın doğal eğiminden yararlanarak hem manzara hem de gölgelik deneyimini güçlendirecek şekilde tasarlanmıştır.

Bölgede gözlemlenen eylemler; yürüyüş, sohbet, yalnız kısa süreli konaklamalar, günbatımı ve deniz seyri, uzanarak dinlenme, kitap okuma, yemek yeme, hayvan gezdirme, oyun oynama ve sirkülasyon/geçiş gibi çeşitli aktiviteleri kapsamaktadır. Yürüyüş, özellikle yaya yolları ve kafe bağlantılı alanlarda yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Sohbet ve yemek yeme eylemleri, restoran/kafe ve çevresindeki oturma alanlarında gerçekleşmekte ve topluluklar için sosyal bir etkileşim noktası oluşturmaktadır. Günbatımı ve deniz seyri eylemleri, şezlongların ve uygun kotlandırılmış alanların sağladığı konum avantajıyla kullanıcıların manzara deneyimini desteklemektedir. Çim alanlar, esnek oturma imkânı sunarak sohbet, oyun oynama ve dinlenme aktivitelerine hizmet etmektedir. Manzara seyri ve kitap okuma eylemleri, özellikle ahşap şezlonglar ve doğal eğimlerin doğru konumlandırılması sayesinde kullanıcıların uzun süreli dinlenme deneyimi yaşamasına imkân tanımaktadır. Gözlem çalışmalarına ilişkin veriler Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Bölge 3 Gözlem Çalışmalarına İlişkin Veriler

Ahşap oturma alanları: Bekleme ve dinlenme	Ahşap şezlong oturma alanları: Dinlenme, manzara seyri ve güneşlenme	Amfi: Oturma-dinlenme, sohbet etme, yemek yeme
		
Büfe: Oturma-dinlenme, sohbet etme, yemek yeme	Restoran: Oturma-dinlenme, sohbet etme, yemek yeme	Taş oturma alanı: Oturma-dinlenme, sohbet etme, yemek yeme
		

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bölge 1'de yapılan gözlemler sonucunda yürüyüş, koşu ve bisiklet sürme eylemlerinin günün her saatinde aktif olarak gerçekleştirildiği görülmüştür. Yürüyüş ve sohbet gibi aktiviteler hava koşullarından bağımsız olarak devam ederken, piknik yapma, oturma ve oyun oynama gibi eylemlerin mevsim ve hava durumuna bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Denize yakın

donatılarda manzara seyri ve balık tutma aktiviteleri öne çıkarken, yemek yeme, fotoğraf çekme, oturma ve dinlenme eylemleri mekânlarla sınırlı kalmadan alanda yaygın şekilde gerçekleşmiştir. Mekânların birbirinden net sınırlarla ayrılmadığı ve sirkülasyonun süreklilik sağladığı, donatıların alanda dengeli bir biçimde dağıldığı gözlenmiştir. Etkinlik zamanlarında sirkülasyon eğilimlerinin etkinlik alanına yöneldiği ve oturma alanlarının yoğun kullanımlarda yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Bölge 2’de yapılan gözlemler sonucunda, yürüyüş yollarının günün farklı saatlerinde aktif şekilde kullanıldığı, özellikle orta yaş ve üzeri kullanıcılar tarafından yoğun tercih edildiği görülmüştür. Yürüyüş ve balık tutma gibi bazı eylemler, olumsuz hava koşullarına rağmen gerçekleştirilmektedir. Alanın çeşitli noktalarında özellikle balık kokusunun hâkim olduğu belirlenmiş, çocuk oyun alanı ile tuvalet gibi mekânların birbirine yakın konumlandırıldığı tespit edilmiştir. Etkinlik zamanlarında ise sirkülasyon eğilimi etkinlik alanına yönelmekte, bu durum alan kullanımını etkileyen doğal bir faktör olarak gözlemlenmiştir. Oturma eylemlerinin, banklar ve kaldırım kenarları gibi alanlarda yoğun şekilde yapıldığı; yüksek kullanım sırasında oturma alanlarının yetersiz kaldığı ve sirkülasyonun kısmen zorlandığı görülmüştür. Ayrıca alan içindeki asansör ve rampaların engelli bireyler için erişimi kolaylaştırdığı, rampanın bisiklet kullanıcıları için hareketi desteklediği ve merdivenin şehir merkezinden alana ulaşımı sağladığı gözlemlenmiştir. Genel olarak alanın mekân dağılımı ve donatılar, farklı kullanıcı gruplarının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde esnek bir kullanım sunmaktadır.

Bölge 3’te yapılan gözlemler, alanın kullanım yoğunluğunun diğer bölgelere kıyasla daha düşük olduğunu göstermiştir. Güneşin yoğun etkisi ve gölgelik eksikliği, özellikle öğle ve öğleden önceki saatlerde donatıların kullanımını büyük ölçüde kısıtlamıştır. Yağışlı veya kapalı havalarda kullanımın azaldığı görülmüştür. Alanda çoğunlukla, manzara ve deniz kenarı odaklı noktalar tercih edilmiş, özellikle su kenarında balık tutma eylemi kullanıcıları uzun süre alanda tutan bir faktör olarak öne çıkmıştır.

Alanda ışıklandırma ve büfe/restoran gibi donatılar mevcut olsa da, gece saatlerinde karanlık nedeniyle kullanım diğer bölgelere göre beklenen seviyeye ulaşamamıştır. Gölgelik sağlayan ağaçlar ve restoran terasları, kısmi yoğunluk artışı sağlamış olsa da doğrudan güneş altındaki donatılarda kullanım sınırlı kalmıştır. Yaya yolları ile parkur işlevinin, dolaşım ve yürüyüş aktivitelerini teşvik etmekte olduğu gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte, çim alanlar uzun süreli oturma ve dinlenme için tercih edilen alanlar olarak öne çıkmış, kullanıcıların kitap okuma, sohbet veya dinlenme gibi aktivitelerini gerçekleştirebildiği belirlenmiştir.

Alanda yer alan farklı bölgelerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, çöp kutusu ve tuvaletlerin sayıca yetersiz olduğu ve erişilebilirlik açısından eksiklikler barındırdığı tespit edilmiştir. Kent merkezine yakın konumu nedeniyle otoparkın ortak kullanımında olduğu ve bu durumun sahil kullanıcıları için sorun yarattığı gözlemlenmiştir. Mevsimsel etkenler bazı aktiviteleri tamamen engellemese de birçok eylemin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu doğrultuda alanda baş üstü koruma, şemsiye veya benzeri iklimsel donatılar bulunmamaktadır. Ayrıca, sahildeki satış noktalarının tümü aktif olarak kullanılmamaktadır. Çalışma sonucunda, alanın genel kullanım memnuniyeti ve yoğunluğunun yüksek olduğu ve yapılan düzenlemelerin geçmişteki Ganita bölgesini kentliye yeniden kazandırdığı söylenebilmektedir. Alanda belirlenen eksikliklerin giderilmesinin, kullanım memnuniyetinin artırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Altunöz, Ö., Tırıl, A., Arslan, Ö. M., Hamsilos Tabiat Parkı'nın Rekreasyon Potansiyelini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma, *Journal of Recreation and Tourism Research*, 1, 1, 20-38, 2014.
- Aydınlı, S., *Mekansal Değerlendirmede Algusal Yargılara Dayalı Bir Model*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1986.
- Balık, İ., Ordu'da Kıyı Alanı Kullanımı ve Denizel Ekosisteme Etkileri, *Journal of Urban Academy*, 10, 29/3, 31-47, 2017.
- Bayartan, M., Kentsel Fonksiyonlar, Özel Fonksiyonların Kentsel Gelişime Etkileri ve Trabzon Örneği, *Karadeniz İncelemeleri Dergisi*, 1, 2, 123-136, 2007.
- Breen, A., Rigby, D., *Waterfronts: Cities Reclaim Their Edge*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- Çağlayan Kaptanoğlu, A. Y., Peyzajın Görsel Analizinde Grafik Düşünme Süreci ve Soyutlama, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 58, 1, 25-38, 2008.
- Çelik, K., Kıyı Alanlarının Planlanmasında Kıyı Kenar Çizgisinin Önemi, *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, 2, 1, 36-43, 2015.
- Emir, O., İlk ve Orta Çağlarda Trabzon. Trabzon Tarihi Birinci Cilt (Siyasi Tarih), (Ed. H. Öksüz, V. Usta, K. İnan). Trabzon Ticaret ve Sanayi Odası, Trabzon, Türkiye, 2022.
- Erkök, F., *Kentsel Bileşenleri ve Kıyı Kenti Kimliği Bağlamında İstanbul'un Öznel ve Nesnel Değerlendirmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- Gül, A., Küçük, V., Kentsel Açık-Yeşil Alanlar ve Isparta Kenti Örneğinde İrdelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, a, 27-48, 2001,
- Günaydın, M., *KTÜ Kanuni Yerleşkesi (Trabzon)'ndeki Öğrencilerin Spor ve Rekreasyon İhtiyaçlarının Saptanması ve Gelişimine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.
- Hayta, Y., Kent Kültürü ve Değişen Kent Kavramı, *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5, 2, 2016.
- Işık, B. Ö., Demirel, Ö., Determination of Coastal Areas of Recreational Activities in the City of Trabzon, *Journal of The Faculty of Forestry Istanbul University*, 66, 2, 483-496, 2016.
- İnan, S., *Boğaziçi Kıyı Alanlarının Rekreasyonel Açından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- Kalın, A., Trabzon'un Geçmişteki Kıyı Çizgisi ve Kıyı Kullanım Kültürünün Değişimi, *Doğu Karadeniz Doğal Çevre Tartışmaları*, (Ed. D. Beyazlı, M. Pulatkan, S. Özlü). Livre de Lyon, 144-164, 2021.
- Kostof, S., *The City Assembled*, Thames & Hudson, 1992.
- Konuk, N., Utilization and Planning of Coastal Areas in Ordu, *Global NEST Journal*, 20, 1, 147-150, 2018.
- Oktay, H. E., Erdoğan, R., Oktay, F. B., Kent ve Su, İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 5, 11, 2015.
- Özdemir Işık, B., Odacı Karadeniz, G. S., Trabzon Kıyı Cephe ve Dolgu Alanlarının Kullanıcı Görüşleri Bağlamında Değerlendirilmesi, *Artium*, 11, 1, 1-12, 2023.

Özkan, D. G., Özkan, S. D., Evaluating Social Interaction Performance and Sense of Community in Urban Green Space: The Case of Trabzon Ganita Coast, Landscape Architecture and Art, 24, 24, 21-27, 2024.

Sağlık, A., *Çanakkale Kent Kıyısının Kentsel Peyzaj Tasarımı Açısından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 2010.

Uğurlu, Ö., Kentlerin Tarihsel Gelişimi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1, 2, 45-60, 2010.

Uzunali, A., Acar, C., Trabzon Kenti Örnekleminde, Kent-Kıyı İlişkileri Analizi, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 21, 2, 181-190, 2020.

URL 1, <https://www.trabzontur.com.tr/eng/trabzonlimani.html> (Erişim tarihi: 17.9.2025)

URL 2, <https://www.facebook.com/trabzon.yemekler.cografya.kultur> (Erişim tarihi: 17.9.2025)

URL 3, <https://www.arkitera.com/proje/ortahisar-faroz-ganita-arasi-ve-mumhane-onu-peyzaj-tasarimi/> (Erişim tarihi: 23.09.2025)

URL 4, <https://www.ecolaud.com.tr/projeler-seckisi/ortahisar-faroz-ganita-arasi-ve-mumhane-onu-kentsel-tasarimi-etap-2-ganita-iskenderpasa-kemer kaya-carsi-pazarkapi-ile-hizirbey-faroz-yali-kiyi-seridi> (Erişim tarihi: 23.09.2025)

Üçüncü, O., Doğu Karadeniz Kıyı Alanlarında Planlanan Yatırımlar ve Trabzon Örneği İrdelenmesi, 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2014.

Yılmaz, E. K., *Samsun Kenti Kıyı Dolgu Alanının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi ve Öneriler*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

ZEYTİN YAPRAĞI İLE BOYA KİRLİLİĞİNE DOĞAL ÇÖZÜM: MALAHİT YEŞİLİ UZAKLAŞTIRIMI SONRASI FİTOTOKSİSİTE ANALİZİ

BELİZ TURAN

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, Türkiye belizturan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-8920-5692>

Prof. Dr. SEMRA MALKOÇ

Eskişehir Teknik Üniversitesi, , Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, Türkiye satik@eskisehir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8092-411X>

ÖZET

Endüstriyel boyar maddeler arasında yer alan Malahit Yeşili (MY), kalıcılığı yüksek, toksik ve mutajenik özellikleriyle çevre ve insan sağlığı için ciddi tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, boyar madde gideriminde kullanılan alternatif materyallerin yalnızca verimli olması değil, aynı zamanda ekotoksik etkiler bakımından güvenilirliğinin de test edilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, zeytin yaprağından yavaş piroliz yöntemiyle elde edilen biyosorban kullanılarak gerçekleştirilen MY giderimi sonrası elde edilen çözeltilerin fitotoksosite etkileri incelenmiştir.

Fitotoksosite analizleri *Vigna radiata* L. (maş fasulyesi) çimlenme testi ve *Allium cepa* L. (soğan) büyüme testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir: Değerlendirme kriterleri olarak çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunlukları, biyokütle artışı, büyüme indeksi (Bİ) ve nispi büyüme indeksi (NBİ) dikkate alınmıştır.

Sonuçlar, MY'nin bitki gelişimi üzerinde belirgin düzeyde toksik etki gösterdiğini ortaya koymuştur. MY'ye maruz bırakılan tohumlarda çimlenme oranı önemli ölçüde azalmış, kök uzaması baskılanmış ve NBİ değerleri kritik eşiklerin altına inmiştir. *Vigna radiata* tohumlarında MY varlığında çimlenme %50'nin altına düşmüş, kök gelişimi belirgin şekilde yavaşlamıştır. *Allium cepa* testlerinde de benzer biçimde kök ve sürgün gelişiminde duraksama ve deformasyonlar gözlenmiştir.

Buna karşın, zeytin yaprağı biyosorbanı ile arıtılmış çözeltilerde fitotoksik etki görülmemiştir. *Vigna radiata* için çimlenme oranı %96,6'ya ulaşmış, ortalama kök uzunluğu 4,55 cm olarak ölçülmüş ve NBİ > 0,8 değerleri elde edilmiştir. Bu durum, biyosorban ile gerçekleştirilen MY giderimi sonrası elde edilen çözeltilerin bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemediğini ve ekotoksik açıdan güvenli olduğunu göstermektedir. *Allium cepa* testleri de bu sonucu desteklemiş, biyosorban uygulamasının kök ve sürgün büyümesinde sağlıklı gelişim sağladığını doğrulamıştır.

Sonuç olarak, zeytin yaprağı bazlı biyosorban yalnızca yüksek boya giderim verimliliği ile değil, aynı zamanda fitotoksosite oluşturmamasıyla da öne çıkmaktadır. Söz konusu biyosorbanın su kirliliğiyle mücadelede çevre dostu, sürdürülebilir ve ekotoksikolojik olarak güvenli bir arıtım alternatifi olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Zeytin yaprağı, Malahit Yeşili, Biyosorban, Adsorpsiyon, Fitotoksosite.

1. GİRİŞ

Tarih boyunca tekstil sektöründe doğal boyalar kullanılmış, ancak 1856'da İngiliz kimyager Perkin'in katrandan tesadüfen ilk sentetik boyayı sentezlemesiyle bu durum değişmiştir. "Anilin boya" olarak adlandırılan bu keşif, sentetik boyaların yaygınlaşmasının önünü açmış ve doğal boyaların yerini almasına neden olmuştur. Türkiye'de sentetik boyalar 1880'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde sentetik boyalar, hayatımızın pek çok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu boyalar, malzeme kaynaklarına (doğal veya sentetik) ve kimyasal yapılarına (kromofor veya oksokrom) göre sınıflandırılmaktadır. Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyar maddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Malahit yeşili (MY), suda çözünen ve trifenilmetan kategorisine ait olan önemli bir katyonik(bazik) boyadır [1]. Benzaldehit ve dimetil anilinden elde edilir. MY, koyu yeşildir ve kristal bir katıdır [2]. Sanayide ipek, deri, yün ve pamuğu mordanlamak amacıyla boyamada kullanılır [3]. Tekstil atık sularının arıtımı; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma yöntemleri dört gruba ayrılır. Arıtma yöntemi seçilirken, tekstil bitim işlemleri, kullanılan kimyasallar, geri kazanılabilir ve su tasarrufu gibi faktörler dikkate alınır. Arıtma tesisi tasarımı, atık suyun özelliklerine göre detaylı analizler ve veriler toplanarak yapılmalı, farklı arıtma seçenekleri değerlendirilerek uygun bir şekilde değerlendirilmelidir [4].

1.1. Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, zeytin üretimi sonucunda ortaya çıkan atık yaprakların yavaş piroliz yöntemiyle işlenmesiyle elde edilen biyosorbanın, Malahit Yeşili (MY) giderimi sonrasında çevresel açıdan güvenilirliğinin fitotoksisite testleri ile değerlendirilmesidir.

Endüstriyel boyar maddeler arasında yer alan MY, yüksek kalıcılığı ve toksik etkileri nedeniyle çevre ve canlı sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, boyar madde gideriminde kullanılan alternatif materyallerin yalnızca yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması yeterli değildir; arıtım sonrası elde edilen çözeltilerin biyolojik güvenilirliğinin de analiz edilmesi gereklidir.

Bu kapsamda, zeytin yaprağı bazlı biyosorban ile gerçekleştirilen MY giderimi sonrası çözeltilerin bitki gelişimi üzerindeki potansiyel toksik etkileri *Vigna radiata* L. (maş fasulyesi) ve *Allium cepa* L. (soğan) bitkileri kullanılarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen testlerle çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunlukları, biyokütle artışı, büyüme indeksi (Bİ) ve nispi büyüme indeksi (NBİ) gibi parametreler değerlendirilmiştir.

Bu çalışma ile, zeytin yaprağından elde edilen biyosorbanın yalnızca etkin bir boya giderici değil, aynı zamanda fitotoksik açıdan güvenli bir arıtım materyali olup olmadığının belirlenmesi ve böylece sürdürülebilir, çevre dostu bir adsorpsiyon yaklaşımının ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Biyosorban Hazırlığı ve Optimum Koşulların Belirlenmesi

Biyosorban üretiminde hammadde olarak, zeytin üretimi sonrasında atık olarak ortaya çıkan zeytin yaprakları kullanılmıştır. Yapraklar öncelikle musluk suyu ve ardından distile su ile yıkanarak yüzeydeki toz, reçine ve organik kalıntılardan arındırılmıştır. Temizlenen yapraklar 105 °C'de 24 saat süreyle kurutulmuş ve homojen boyutta parçacıklar elde etmek amacıyla öğütülmüştür.

Kurutulan numuneler, azot atmosferi altında yavaş piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Piroliz sıcaklıkları sırasıyla 300 °C, 400 °C ve 500 °C olarak belirlenmiş ve her bir sıcaklıkta 1 saat süreyle ısıtım uygulanmıştır. Elde edilen biyosorban örnekleri öğütülüp 100 µm elek altı boyuta getirilmiş ve hava geçirmez kaplarda saklanmıştır.

Hazırlanan biyosorbanların Malahit Yeşili (MY) adsorpsiyon performansını belirlemek amacıyla, başlangıç boya konsantrasyonu, temas süresi, sıcaklık ve biyosorban miktarı parametreleri ayrı ayrı incelenmiştir. Deneylerde 100 mL boya çözeltisi kullanılmış, pH 7 civarında sabit tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, 500 °C'de hazırlanmış biyosorbanın en yüksek performansı sergilediği belirlenmiştir. Bu biyosorban kullanılarak 100 ppm MY çözeltisinde, 0,05 g biyosorban miktarı, 255 dakika temas süresi ve 40 °C sıcaklık koşullarında %98,95 giderim verimi elde edilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi bu koşullarda 95,52 mg/g olarak hesaplanmıştır.

2.2. Fitotoksisite Çalışmaları

Fitotoksisite, gübreler, herbisitler, ağır metaller veya nanopartiküller gibi kimyasal maddelerin aşırı dozda uygulanması sonucunda tohumların çimlenmesinde gecikme, bitki gelişiminin durması ya da bu kimyasalların (fitotoksinler) bitki fizyolojisi ve metabolizması üzerinde olumsuz etkilere neden olması durumudur. Bitki büyümesini desteklemek amacıyla kullanılan kimyasal maddeler; hatalı uygulama, doğrudan bitkiye zararlı dozlarda temas, kirleticilerin yüzey akışıyla hassas ürünlere taşınması veya çevrede kalıcı atıkların (örneğin izmaritler) birikmesi durumunda bitkiler üzerinde toksik etki gösterebilir. Bu etkiler arasında metabolik süreçlerde bozulma, büyümenin yavaşlaması ya da tamamen durması ve bitki ölümü yer alır. Fotosentez, su ve besin alımı, hücre bölünmesi ve tohum çimlenmesi gibi temel fizyolojik işlevlerdeki aksaklıklar, bu toksik etkilerin başlıca sonuçlarıdır. Fitotoksisite genellikle fotosentez gibi yaşamsal süreçler üzerindeki birleşik streslerin gözlemlenmesiyle fark

edilebilir, ancak toksik etkinin tam olarak hangi işlev üzerinde yoğunlaştığını tespit etmek çoğu zaman zordur.

Fitotoksisite testleri, toprak, çamur, tortu, kompost, sulama suyu, kimyasallar ve biyosit içeren atık sular gibi örneklerde toksik etkiyi değerlendirmek amacıyla yapılan kısa süreli (genellikle üç günlük) biyotestlerdir. Bu testler, organik bileşiklerin, biyosolidlerin, endüstriyel atıkların ve kimyasalların bitki gelişimi üzerindeki potansiyel risklerini ortaya koymak için oldukça kullanışlıdır. Yüksek güvenilirliğe sahip olan bu yöntemler, ekonomik ve uygulanması kolay olmaları sayesinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Fitotoksisite testleri, özellikle farklı atık türlerinin çevreye ve bitkilere olan zararlı etkilerinin belirlenmesinde değerli bilgiler sunar. Numunelerde çok sayıda karmaşık kimyasalın bulunması, test sırasında hangi maddenin en fazla zararı verdiğini saptamayı zorlaştırabilir. Özellikle vasküler bitki türleriyle yapılan testler, çimlenme ve fide gelişimi gibi erken büyüme evrelerindeki toksik etkilerin değerlendirilmesinde etkilidir. Tohum çimlenmesi, çevresel stres faktörlerine karşı oldukça hassas olduğundan, bu süreçteki olumsuzluklar mevcut kirleticilerin zararlı etkilerini açığa çıkarabilir.

Fitotoksisite analizleri, bir bileşikteki toksik etkinin düzeyini ortaya koyabilir; ancak bu toksisiteye neden olan spesifik maddeyi doğrudan tanımlayamaz. Buna rağmen, “Büyüme İndeksi” (Bİ) (Growth Index - GI) yardımıyla farklı maddelerin toksisite seviyeleri karşılaştırılabilir. Bİ değeri ile toksisite düzeyi ters orantılıdır; yani Bİ değeri düştükçe, test edilen maddenin toksik etkisi artar. Bu durumda test organizması olarak kullanılan tohumların kök gelişimi kısmen ya da tamamen durur.

Büyüme indeksini (Bİ) ve nispi büyüme indeksini (NBİ) hesaplamak için uygulanacak formüller şunlardır:

$$NBİ = RLC / RLS$$

RLS: örnek kök uzunluğu (pozitif ve diğer konsantrasyon grupları)

RLC: negatif kontrol grubu kök uzunluğudur.

$$\%Bİ = (RLC \times GSC) / (RLS / GSS) \times 100$$

GSS: muamele gruplarında çimlenmiş tohum sayısı

GSC: negatif kontroldeki çimlenmiş tohum sayısıdır.

NBİ değerleri, gözlemlenen toksisite etkilerine göre üç kategoriye ayrılır:

- Kök uzamasının engellenmesi (I): $0,0 < x \leq 0,8$
- Önemli etki yok (NSE): $0,8 < x \leq 1,2$
- Kök uzamasının uyarılması (S): $x > 1,2$

Fitotoksisite testlerinde, bitki gelişimini gözlemlenmek amacıyla çeşitli yetiştirme ortamları kullanılmaktadır. Bu ortamlar arasında en temel olanları su ve topraktır. Testler genellikle bitki gelişiminin iki ana evresinde gerçekleştirilir:

1. **Tohum Çimlenme Aşaması:** Bu aşamada tohumlar, çimlenme süresi boyunca (tercihen en az 4 gün) test çözeltisi ile temas halinde tutulur. Süreç sonunda çimlenme yüzdesi hesaplanarak kimyasal maddenin çimlenme üzerindeki etkisi değerlendirilir.
2. **Kök Gelişim Aşaması:** Bu aşamada ise bitkiler, zararlı maddelere maruz bırakıldıktan sonra kök ve sürgün uzunlukları ile kuru ağırlık ölçülerek gelişim üzerindeki olumsuz etkiler analiz edilir [3].

Bu çalışmada, test materyali olarak Bursa bölgesinden toplanan zeytin yaprakları kullanılmıştır. Yapraklar 500 °C’de yakıldıktan sonra, 100 ppm konsantrasyondaki boya çözeltisinde 40 °C sıcaklıkta 255 dakika boyunca çalkalanarak numune hazırlanmıştır. Fitotoksisite testlerinde ise bitki türü olarak *Vigna radiata* L. (maş fasulyesi) ve *Allium cepa* L. (soğan) tercih edilmiştir.

Bu deneysel çalışmada 100 ppm malahit yeşili çözeltisi, bir gece dinlendirilmiş çeşme suyu, giderim sonrası elde edilen çözelti, NaClO (sodyum hipoklorit) ve saf su kullanılmıştır.

Bu deneysel çalışmada distile su cihazı, etüv, hassas terazi ve mikropipet seti kullanılmıştır.

2.3. Fitotoksik Etkinin Belirlenmesi

2.3.1. *Vigna radiata* L. fitotoksisite testi

Malahit yeşilinden arındırılmış numunenin bitki gelişimi üzerindeki fitotoksik etkilerini değerlendirmek amacıyla *Vigna radiata* (maş fasulyesi) tohumları kullanılmıştır. Deneyselerde kullanılacak tohumlar; fizyolojik olgunluğunu tamamlamış, sağlıklı, böcek zararına uğramamış ve pestisit uygulanmamış örnekler arasından temin edilmiştir.

Tohumların yüzey sterilizasyonu için %1’lik sodyum hipoklorit (NaClO) çözeltisinde 1–2 dakika bekletilmiş, ardından akan musluk suyu altında iyice yıkanarak kimyasal kalıntılar giderilmiştir. Çimlenme testi için Haq vd. (2016) tarafından geliştirilen yöntem temel alınmıştır. Test ortamı, petri kabı boyutlarında kesilmiş iki kat Whatman No.1 filtre kâğıdı arasına aynı ölçülerde kesilmiş pamuk tabakası yerleştirilerek hazırlanmıştır.

Fitotoksisite testleri; saf su, bir gece dinlendirilmiş çeşme suyu, giderim sonrası çözelti ve 100 ppm malahit yeşili boya çözeltisi olmak üzere dört farklı uygulama grubunda yürütülmüştür. Her bir petri kabına 10 adet *V. radiata* tohumu yerleştirilmiş ve her kabın içine 9 mL ilgili test çözeltisi (saf su, bir gece dinlendirilmiş çeşme suyu, giderim sonrası çözelti ve 100 ppm malahit yeşili boya çözeltisi) eklenerek ortam nemlendirilmiştir. Etiketlenen Petri kapları, etüvde 28 ± 1 °C sıcaklıkta çimlenme tamamlanincaya dek inkübasyona bırakılmış ve günlük gözlemler yapılmıştır.

Çimlenme süreci boyunca, her gün düzenli olarak gözlem yapılmış ve sıvı eksilen petri kapları uygun çözeltisiyle yeniden nemlendirilmiştir. Çimlenme testinde 2. ve 5. günlerde çimlenen tohum sayıları kaydedilmiş; her bir tohumun kök ve sürgün uzunlukları (cm cinsinden) ölçülerek her uygulama grubu için ortalama değerler hesaplanmıştır. Tüm uygulamalar üç tekrarlı olarak yürütülmüştür.

Deneyin ikinci aşamasında, çimlenen *V. radiata* tohumlarından rastgele seçilen 10’ar adet örneğin yaş ağırlıkları ölçülmüş, ardından bu tohumlar 70 °C sıcaklıktaki etüvde 48 saat boyunca kurutulmuştur. Süre sonunda kuruyan tohumların kuru ağırlıkları belirlenmiş ve

yaş/kuru ağırlık farkına göre tohumların biyokütleleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

Biyokütle: Yaş tohum ağırlığı (g) - Kuru tohum ağırlığı (g)

2.3.2. *Allium cepa* L. fitotoksitesite testi

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak *Allium cepa* L. (soğan) örneklerinin seçiminde; pestisit uygulanmamış, sağlıklı, fizyolojik olgunluğunu tamamlamış, benzer büyüklük ve ağırlığa sahip soğanlar tercih edilmiştir. Her bir uygulama grubu için 8 adet soğan kullanılmış ve deneyler iki tekrarlı olacak şekilde yürütülmüştür.

Deneye alınmadan önce, soğanların dış kabukları ve eski kökleri dikkatlice temizlenmiştir. Yüze sterilizasyonu amacıyla soğanlar %1'lik sodyum hipoklorit (NaClO) çözeltisinde 1–2 dakika bekletildikten sonra, akan musluk suyu altında yaklaşık 10 dakika boyunca durularak olası NaClO kalıntılarının tamamen uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Deney grupları için hazırlanan deney tüpleri; saf su, bir gece dinlendirilmiş çeşme suyu, giderim sonrası çözelti ve 100 ppm malahit yeşili boya çözeltisi ile doldurulmuştur. Her bir tüpe, kök kısmı çözelti ile temas edecek şekilde toplam 16 adet soğan yerleştirilmiş ve tüpler uygun şekilde etiketlenmiştir. Deney tüpleri 22 ± 1 °C sıcaklıktaki etüvde 5 gün süreyle bekletilerek kök gelişimi gözlenmiştir.

Beşinci günün sonunda, her bir grupta köklenmiş soğanların kök sayısı belirlenmiş ve her birinin kök uzunluğu (cm) ölçülmüştür. Elde edilen bu veriler ışığında, büyüme indeksi (Bİ) (Growth Index – GI) ve nispi büyüme indeksi (NBİ) (Relative Growth Index – RGI), Young vd. (2012) tarafından belirtilen aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır:

$$NBİ = SRL / CRL$$

SRL: Deneme grubundaki kök uzunluğu

CRL: negatif kontrol grubundaki kök uzunluğu

$$\% Bİ = (SRL / RGS) / (CRL \times RGC) \times 100$$

RGS: muamele gruplarındaki kök sayısı

RGC: negatif kontroldeki kök sayısıdır.

Negatif kontrol için, bir gece dinlendirilmiş çeşme suyu, pozitif kontrol için saf su kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, 500 °C'de yakılarak aktivasyonu sağlanan zeytin yaprakları, 100 ppm derişimindeki boya çözeltisine ilave edilmiş ve 40 °C sıcaklıkta, 255 dakika süreyle çalkalanarak adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen işlem görmüş numune, fitotoksik etkilerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen biyotestlerde test çözeltisi olarak kullanılmıştır.

DeneySEL düzenekte karşılaştırmalı değerlendirme yapılabilmesi amacıyla dört ayrı kontrol grubu oluşturulmuştur: saf su, bir gece dinlendirilmiş çeşme suyu, giderim sonrası çözelti ve 100 ppm malahit yeşili boya çözeltisi.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. *Vigna radiata* L. fitotoksisite test sonuçları

Bu çalışmada farklı muamele gruplarına ait tohumların çimlenme başarıları 2. ve 5. günler itibarıyla değerlendirilmiş ve elde edilen veriler aşağıda yorumlanmıştır:

Negatif kontrol grubunda kullanılan ve bir gece bekletilmiş çeşme suyuyla işlem gören tohumların tamamı (30/30) ikinci gün itibarıyla çimlenmiştir. Bu durum, çeşme suyunun tohum gelişimi üzerinde herhangi bir engelleyici etkisinin bulunmadığını göstermekte ve bu grup %100 çimlenme başarısı ile en yüksek verimi sunmuştur. Beşinci gün itibarıyla da çimlenme oranı sabit kalmış, ek bir artış ya da azalma gözlenmemiştir.

Pozitif kontrol grubunda kullanılan saf suda ise ikinci gün çimlenme oranı %90 (27/30) olarak kaydedilmiş, beşinci gün itibarıyla tüm tohumlar çimlenmiş ve %100'e ulaşmıştır. Bu durum, saf suyun çimlenme süreci açısından oldukça uygun bir ortam sağladığını, ancak çeşme suyuna göre çimlenme süresinin biraz daha yavaş gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

Boya çözeltisine maruz bırakılan tohumlarda çimlenme oranı ikinci gün %76,6 (23/30), beşinci gün ise %80 (24/30) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, boya çözeltisinin fitotoksik etkisinin tohum çimlenmesi üzerinde belirgin bir şekilde baskılayıcı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Diğer kontrol gruplarına kıyasla en düşük çimlenme oranı bu grupta gözlenmiştir.

Adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş zeytin yaprağı ile arıtılmış, yani giderim uygulanmış çözeltide işlem gören tohumlarda ikinci gün çimlenme oranı %96,6 (29/30) olarak belirlenmiş ve beşinci gün bu oran sabit kalmıştır. Boya çözeltisiyle karşılaştırıldığında çimlenme başarısının belirgin şekilde daha yüksek olması, “giderim sonrası çözeltinin” boya içeriğindeki toksik bileşenleri büyük ölçüde giderdiğini göstermektedir. Bu durum, adsorban olarak kullanılan malzemenin çevresel toksisiteyi azaltmadaki etkinliğini desteklemektedir.

Elde edilen bulgular, boya çözeltisinin çimlenme süreci üzerinde baskılayıcı etkisinin bulunduğunu, ancak giderim sonrası çözeltinin bu toksik etkiyi büyük oranda ortadan kaldırdığını göstermektedir. Bu da çalışmada kullanılan biyosorbentin (aktif hale getirilmiş zeytin yaprağı) çevresel detoksifikasyon süreçlerinde kullanılabilirliğine dair güçlü bir kanıt sunmaktadır.

Giderim sonrası çözelti (aktif zeytin yaprağı ile işlem görmüş) ve 100 ppm boya çözeltisi ile işlem görmüş *Vigna radiata* tohumları üzerinde yapılan fitotoksisite analizlerinde, 5. gün itibarıyla gerçekleştirilen kök ve sürgün uzunluğu ölçümleri gruplar arasında belirgin farklar ortaya koymuştur.

Negatif kontrol grubunda (çeşme suyu) ortalama kök uzunluğu 2,85 cm, sürgün uzunluğu ise 13 cm olarak ölçülmüştür. Pozitif kontrol grubunda (saf su) bu değerlerin sırasıyla 4,1 cm ve 16,6 cm olması, suyun kalitesinin bitki gelişimi üzerindeki doğrudan etkisini göstermektedir.

Çizelge 3.1. *Vigna radiata* L. tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkileri

MUAMELE GÜN SÜRESİ (5 GÜN)					
GRUPLAR	Tohum Sayısı	Çimlenen Tohum Sayısı		%Çimlenme (ort)	
		2.GÜN	5.GÜN	2.GÜN	5.GÜN
Negatif Kontrol (Çeşme Suyu)	30	30	30	100	100
Pozitif Kontrol (Saf Su)	30	27	30	90	100
100 ppm boya	30	23	24	76,67	80
Giderim Sonrası Çözelti	30	29	29	96,67	96,67



Çeşme Suyu Saf Su Giderim Sonrası Çözelti 100 ppm MY

Görsel 3.1. *Vigna radiata* L. 5. Gün Görünümleri

100 ppm boya çözeltisi ile muamele edilen grupta ortalama kök uzunluğu 3,78 cm olarak kaydedilirken, sürgün uzunluğunun anlamlı düzeyde azalarak 6 cm'ye düştüğü görülmüştür. Bu durum, boyanın özellikle sürgün gelişimini inhibe eden belirgin bir fitotoksik etki yarattığını göstermektedir. Aynı grupta çimlenen tohum sayısının 24 ile sınırlı kalması, diğer kontrol gruplarına kıyasla daha düşük çimlenme başarısını da ortaya koymaktadır.

Giderim sonrası çözelti ile işlem gören grupta kök uzunluğu ortalama 3,04 cm, sürgün uzunluğu ise 11 cm olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin boya çözeltisi grubuna kıyasla daha yüksek olması, giderim uygulamasının toksik etkileri önemli ölçüde azaltabildiğini göstermektedir. Ayrıca bu grupta çimlenme oranı 29/30 (%96,6) olarak hesaplanmış ve kontrol gruplarına oldukça yakın bir başarı sağlanmıştır.

Kök gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirmek amacıyla hesaplanan Nispi Kök Uzama İndeksi (NBİ) değerlerine göre; 100 ppm boya uygulamasında NBİ değeri 0,62 ile 0,8'in altında kalmış ve kök gelişiminin belirgin düzeyde baskılandığı görülmüştür. Buna karşılık, diğer tüm gruplarda NBİ > 0,8 olduğundan, uygulanan maddenin *Vigna radiata* L. tohumlarının çimlenmesini anlamlı düzeyde baskılamadığı anlaşılmaktadır.

Deneyin ilerleyen günlerinde (5. ve 7. gün) gerçekleştirilen biyokütle ölçümleri de gruplar arasındaki farklılıkları pekiştirmiştir. Pozitif kontrol grubunda en yüksek yaş ağırlık (0,22 g/tohum) ve biyokütle değeri (0,21 g/tohum) ölçülmüştür. Buna karşın boya çözeltili grubunda bu değerler sırasıyla 0,09 g ve 0,09 g olarak belirlenmiş ve biyoküttele ciddi azalma gözlenmiştir. Giderim sonrası çözeltili ile muamele edilen grupta ise yaş ağırlık 0,19 g/tohum, biyokütle değeri ise 0,18 g/tohum olarak kaydedilmiş ve boya çözeltilisine göre daha yüksek, kontrol gruplarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Genel değerlendirme olarak, 100 ppm'lik boya çözeltili, *Vigna radiata* tohumlarının çimlenme oranı ve morfolojik gelişimi üzerinde belirgin düzeyde olumsuz etki göstermiştir. Ancak, aktif hale getirilmiş zeytin yaprağı kullanılarak hazırlanmış giderim sonrası çözeltili, boyanın toksik etkilerini büyük ölçüde azaltmış ve fitotoksisiteyi sınırlayarak bitki gelişimini desteklemiştir. Bu durum, zeytin yapraklarının çevresel kirleticilerin biyogideriminde etkili bir biyosorbent materyal olabileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 3.1.2. *Vigna Radiata* Fitotoksisite Deney Sonuçları

MUAMELE GÜN SÜRESİ (5 GÜN)				
GRUPLAR	Tohum Sayısı	Kök Uzunluğu (cm) (ort)	Sürgün Uzunluğu (cm) (ort)	Çimlenen Tohum Sayısı
Negatif Kontrol (Çeşme Suyu)	30	2,85	13	30
Pozitif Kontrol (Saf Su)	30	4,1	20	30
100 ppm boya	30	1,78	6,6	24
Giderim Sonrası Çözeltili	30	3,25	15	29

3.2. *Allium cepa* L. Fitotoksisite Test Sonuçları

Giderim sonrası çözeltili ve 100 ppm boya çözeltilisinin *Allium cepa* (soğan) kök gelişimi üzerindeki etkileri Tablo'de sunulmuştur. Köklenmenin 5. gününde, negatif kontrol grubunda ortalama kök uzunluğu 5,5 cm ve ortalama kök sayısı 31,5 olarak ölçülmüş; pozitif kontrol grubunda ise bu değerler sırasıyla 5,1 cm ve 30,25 olarak tespit edilmiştir. Her iki kontrol grubu arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür.

100 ppm boya çözeltili ile işlem gören grupta ise, kök gelişimi önemli ölçüde baskılanmış; ortalama kök uzunluğu 1,15 cm'ye, kök sayısı ise 3,45'e düşmüştür. Bu sonuç, boya çözeltilisinin kök uzaması ve köklenme üzerinde ciddi bir inhibisyon etkisi yarattığını ortaya koymaktadır. Aynı gruba ait %Bİ değeri 5,82 ile en yüksek değer olarak hesaplanırken, RGI değeri 0,20 ile 0,8'in oldukça altında kalmıştır; bu da kök büyümesinin ciddi şekilde engellendiğini göstermektedir.

Giderim sonrası çözeltili ile işlem gören örneklerde ise ortalama kök uzunluğu 4,5 cm, kök sayısı ise 30,28 olarak belirlenmiştir. Bu veriler, her iki kontrol grubuna oldukça yakın olup, giderim sonrası çözeltilinin kök gelişimi üzerinde önemli bir olumsuzluk yaratmadığını göstermektedir.

Bu grupta hesaplanan NBİ değeri 0,827 ile 0,8–1,2 aralığında yer almakta ve kök gelişiminin anlamlı biçimde etkilenmediğini işaret etmektedir.

Genel değerlendirme yapıldığında, 100 ppm boya çözeltilisinin hem kök sayısını hem de kök uzunluğunu önemli düzeyde azalttığı ve *Allium cepa* kök gelişimini belirgin şekilde engellediği gözlemlenmiştir. Buna karşılık, giderim sonrası çözeltili ile yapılan uygulamada kök gelişimi ciddi ölçüde etkilenmemiş ve sonuçlar kontrol gruplarına oldukça yakın bulunmuştur. Bu bulgular, boya çözeltilisinin *Allium cepa* üzerinde fitotoksik etkiler oluşturduğunu, giderim sonrası çözeltilinin ise bu tür toksik etkilere yol açmadığını göstermektedir.

Çizelge 3.2 *Allium cepa* L. Kontrol Gruplarındaki İzlenen Özelliklerin Gelişimi

MUAMELE GÜN SÜRESİ (5 GÜN)				
GRUPLAR	Tohum Sayısı	Çimlenen Tohum (ort)	Kök uzunluğu (cm) (ort)	Kök Sayısı
Negatif Kontrol (Çeşme Suyu)	16	16	5,5	31,5
Pozitif Kontrol (Saf Su)	16	15	5,81	30,25
100 ppm boya	16	0	1,15	3,45
Giderim Sonrası Çözeltili	16	15	4,55	30,28



Saf Su

Çeşme Suyu

100 ppm MY

Giderim Sonrası Çözeltili

Görsel 3.2. *Allium cepa* L. 5. Gün Görünümü

Allium cepa kök gelişimi üzerinde giderim sonrası çözeltili ve 100 ppm boya çözeltilisinin etkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülen çalışmada, elde edilen veriler doğrultusunda büyüme indeksi (%Bİ) ve nispi büyüme indeksi (NBİ) hesaplamaları yapılmıştır. Negatif kontrol grubunda (çeşme suyu) kök gelişimi üzerinde herhangi bir inhibisyon gözlenmemiştir. Pozitif kontrol grubunda (saf su) ise kök büyümesinde hafif bir baskılanma dikkati çekmiş ancak bu fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır.

100 ppm boya çözültisi ile muamele edilen *A. cepa* örneklerinde ise kök gelişimi üzerinde belirgin bir inhibisyon gözlemlenmiştir. Bu grupta %Bİ değeri 5,82 olarak hesaplanmış, NBİ değeri ise 0,209'da kalmıştır. NBİ değerinin 0,8'in oldukça altında olması, boya çözültisinin kök uzamasını anlamlı düzeyde engellediğini göstermektedir. Ayrıca bu gruptaki kök uzunluğu ve kök sayısındaki düşüş, $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu bulgular, 100 ppm boya çözültisinin *Allium cepa* kök gelişimini ciddi şekilde baskıladığını ve fitotoksik bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Diğer yandan, giderim sonrası çözültiyle muamele edilen grupta kök gelişimi üzerinde önemli bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Bu grupta %Bİ değeri 2,62 olarak hesaplanırken, NBİ değeri ise 0,82 olarak belirlenmiştir. NBİ değerinin 0,8–1,2 aralığında olması, kök gelişiminin anlamlı düzeyde inhibe edilmediğini, dolayısıyla giderim sonrası çözültinin fitotoksik etkisinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu gruptaki ortalama kök uzunluğu 4,5 cm, kök sayısı ise 30,28 olarak belirlenmiştir ve bu değerler negatif ve pozitif kontrol gruplarına oldukça yakındır.

Genel olarak yapılan değerlendirmede, 100 ppm boya çözültisinin *Allium cepa*'da hem kök uzunluğu hem de kök sayısı üzerinde ciddi bir inhibisyon oluşturduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık giderim sonrası çözülti ile yapılan uygulamada kök gelişiminin büyük ölçüde korunduğu, kontrol gruplarına benzer değerler elde edildiği ve anlamlı bir fitotoksik etkinin gözlenmediği ortaya konmuştur. Bu veriler, boya çözültisinin yüksek düzeyde fitotoksik etki gösterdiğini, giderim sonrası çözültinin ise bu etkiyi önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Çizelge 3.2.1. *Allium cepa* %Bİ ve NBİ değerleri

MUAMELE GÜN SÜRESİ (5 GÜN)			
GRUPLAR	%Bİ	NBİ	
Negatif Kontrol (Çeşme Suyu)	3,05	1,00	<i>Kökler üzerinde önemli bir etkisi yok</i>
Pozitif Kontrol (Saf Su)	3,35	1,06	<i>Kökler üzerinde önemli bir etkisi yok</i>
100 ppm boya	5,82	0,21	<i>Kök uzaması engelleniyor</i>
Giderim Sonrası Çözülti	2,62	0,83	<i>Kökler üzerinde önemli bir etkisi yok</i>

Kök uzamasının engellenmesi: $0,0 < x > 0,8$

Kökler üzerinde önemli bir etki yok: $0,8 < x > 1,2$

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Fitotoksisite analizleri, herhangi bir adsorpsiyon veya arıtım yönteminin yalnızca kimyasal açıdan değil, biyolojik güvenilirlik açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koyan temel ekotoksikolojik testlerdir. Bu çalışmada, Malahit Yeşili (MY) boyar maddesinin giderimi için zeytin yaprağından yavaş piroliz yöntemiyle elde edilen biyosorban kullanılmış ve elde edilen arıtılmış çözültülerin bitki gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

MY, katyonik yapısı ve yüksek kimyasal kararlılığı nedeniyle sucul ekosistemlerde kalıcı kirlilik oluşturan bir maddedir. Çalışma sonuçları, MY'nin hem çimlenme süreci hem de kök ve sürgün gelişimi üzerinde belirgin düzeyde toksik etkilere sahip olduğunu açıkça göstermiştir. MY'ye doğrudan maruz bırakılan *Vigna radiata* L. (maş fasulyesi) tohumlarında çimlenme oranı %50'nin altına düşmüş, kök uzaması baskılanmış ve bitkilerin genel gelişiminde duraksama gözlenmiştir. Nispi büyüme indeksi (NBİ) değerlerinin 0,5'in altında kalması, MY'nin hücre bölünmesi ve uzamasını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Benzer şekilde *Allium cepa* L. (soğan) testlerinde de kök uçlarında morfolojik deformasyonlar, hücre proliferasyonunun zayıflaması ve büyüme yetersizlikleri tespit edilmiştir.

Buna karşın, zeytin yaprağı biyosorbanı ile arıtılmış çözeltilerde toksik etkinin ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Arıtım sonrası elde edilen çözeltilerle yapılan testlerde *Vigna radiata* tohumlarının çimlenme oranı %96,6'ya yükselmiş, ortalama kök uzunluğu 4,55 cm olarak ölçülmüş ve NBİ değerleri 0,8'in üzerinde bulunmuştur. Bu veriler, biyosorban uygulamasının bitki gelişimini olumsuz etkilemediğini, aksine kök uzaması ve biyokütle artışı açısından sağlıklı bir büyüme ortamı sağladığını ortaya koymuştur. *Allium cepa* testlerinde de benzer sonuçlar elde edilerek, kök ve sürgün gelişiminin kontrol grubuna oldukça yakın seyrettiği belirlenmiştir.

Bu bulgular, zeytin yaprağı biyosorbanının yalnızca yüksek boya giderim verimi ile değil, aynı zamanda fitotoksik açıdan güvenli bir materyal olmasıyla da öne çıktığını göstermektedir. Özellikle 500 °C'de hazırlanmış biyosorbanın, Malahit Yeşili gibi toksik bir boyar maddeyi etkin biçimde uzaklaştırmasının yanı sıra, arıtım sonrasında kalan çözeltide bitki gelişimini baskılamayan bir kimyasal ortam oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu durum, biyosorbanın yüzey özellikleri, gözenekliliği ve karbonlaşma derecesiyle ilişkilendirilebilir; çünkü bu faktörler, boya moleküllerinin kimyasal bağlarla tutulmasını ve çözeltideki toksik bileşenlerin azaltılmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, yapılan fitotoksisite testleri, zeytin yaprağı biyosorbanı ile arıtılmış çözeltilerin ekotoksikolojik açıdan güvenli olduğunu güçlü biçimde desteklemektedir. MY'nin doğrudan bitki gelişimi üzerindeki zararlı etkilerinin, biyosorban kullanımıyla önemli ölçüde azaltıldığı görülmüştür. Bu bulgular, zeytin yaprağından elde edilen biyosorbanın yalnızca adsorpsiyon etkinliği yüksek bir malzeme değil, aynı zamanda çevreye yeniden kazandırıldığında ekosistem açısından güvenli bir biyomateryal olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, atık zeytin yapraklarının değerlendirilmesi yoluyla hem atık yönetimi hem de su kirliliğiyle mücadele konularında sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, zeytin yaprağı bazlı biyosorbanın gelecekte doğal, ekonomik ve çevre dostu bir arıtım alternatifi olarak hem laboratuvar hem de endüstriyel ölçekli uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Böylece, bu biyosorban türü hem çevre kirliliğinin azaltılmasına hem de tarımsal atıkların değer kazanmasına katkı sağlayarak döngüsel ekonomi prensipleriyle uyumlu bir çözüm potansiyeli taşımaktadır.

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2024 Yılı 1. Dönem 1919B012426914 numaralı başvuru ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 25LÖP197 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Yalvaç, G. M., *Karbonize Mandalina Kabuğu ve Sıfır Değerlikli Nano Demir İçeren Adsorbentlerin Hazırlanması ve Malahit Yeşilinin Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018.
- [2] Çiçekçi, A., *Doğal Şeftali Çekirdeği ile Malahit Yeşilinin Adsorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2019.
- [3] Sadıç, E. ve Çelik, T. A., Environmental Hazards of Light Cigarette Butts and Filters: Physiological, Cytotoxic, and Genotoxic Assessment Using the Allium cepa L. Assay, *Environmental Science and Pollution Research*, 1–11, 2025.
- [4] Bilin, F., *Kayısı Çekirdeği Kabuğu ile Metilen Mavisi, Malahit Yeşili ve Bakır (II) Biyosorpsiyonu*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2014.

ZEYTİN YAPRAĞI BAZLI BİYOSORBAN KULLANILARAK MALAHİT YEŞİLİ GİDERİMİNİN ADSORPSİYON PARAMETRELERİ VE İZOTERM ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

NUR GÜNDÜZ

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, Türkiye nurgndz19@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-9506-3818>

Prof. Dr. SEMRA MALKOÇ

Eskişehir Teknik Üniversitesi, , Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, Türkiye satik@eskisehir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8092-411X>

ÖZET

Endüstriyel atıksularda sıkça rastlanan boyar maddeler, yüksek kimyasal kararlılıkları nedeniyle arıtımda büyük zorluklar yaratmaktadır. Bu kirleticiler arasında yer alan Malahit Yeşili (MY), toksik özelliğiyle çevre ve canlı sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, zeytin üretiminden kaynaklanan zeytin yaprağı atıkları değerlendirilmiş ve piroliz yöntemiyle biyosorban materyali elde edilerek MY'nin giderimindeki etkinliği araştırılmıştır.

Çalışmada, 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda hazırlanan biyosorbanların performansları karşılaştırılmıştır. Adsorpsiyon verimine etki eden başlıca parametreler olan başlangıç boya konsantrasyonu, temas süresi, biyosorban miktarı ve sıcaklık değişkenleri sistematik olarak incelenmiştir. Bulgular, 500 °C'de hazırlanan biyosorbanın en yüksek giderim verimi (%98,95) ve tutma kapasitesi (95,52 mg/g) sağladığını göstermiştir.

Başlangıç konsantrasyonu çalışmaları, düşük derişimlerde yüksek giderim yüzdesi elde edildiğini, yüksek derişimlerde ise tutma kapasitesinin arttığını ortaya koymuştur. Temas süresi deneyleri, adsorpsiyonun özellikle ilk 60 dakikada hızlı ilerlediğini ve 255. dakikada dengeye ulaştığını göstermiştir. Biyosorban miktarının artırılmasıyla giderim verimi yükselmiş, optimum sonuçlar düşük miktarda biyosorban kullanıldığında elde edilmiştir. Sıcaklık çalışmalarında ise artan sıcaklığın adsorpsiyon verimini olumlu etkilediği ve en iyi sonuçların 40 °C'de sağlandığı belirlenmiştir.

Adsorpsiyon mekanizmasının anlaşılması amacıyla yapılan izoterm analizlerinde, Langmuir modeline düşük uyum ($R^2=0,7633$) gözlenirken, Freundlich izotermiyle yüksek korelasyon ($R^2=0,9943$) elde edilmiştir. Bu durum, adsorpsiyon sürecinin heterojen yüzeylerde çok katmanlı gerçekleştiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, zeytin yaprağı atıklarından elde edilen biyosorban, yüksek MY giderim verimi, düşük maliyeti ve sürdürülebilirliği ile çevre dostu bir arıtım alternatifi olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım hem tarımsal atıkların yeniden değerlendirilmesine hem de su kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zeytin yaprağı, Malahit Yeşili, Adsorpsiyon, Biyosorban, İzoterm

1. GİRİŞ

Tarih boyunca tekstil sektöründe doğal boyalar kullanılmış, ancak 1856'da İngiliz kimyager Perkin'in katrandan tesadüfen ilk sentetik boyayı sentezlemesiyle bu durum değişmiştir. "Anilin boya" olarak adlandırılan bu keşif, sentetik boyaların yaygınlaşmasının önünü açmış ve doğal boyaların yerini almasına neden olmuştur. Türkiye'de sentetik boyalar 1880'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde sentetik boyalar, hayatımızın pek çok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu boyalar, malzeme kaynaklarına (doğal veya sentetik) ve kimyasal yapılarına (kromofor veya oksokrom) göre sınıflandırılmaktadır.

Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedir. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Alıcı sulara verilen renkli atıksular, su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler.

Malahit yeşili (MY), suda çözünen ve trifenilmetan kategorisine ait önemli bir katyonik (bazik) boyadır [1]. Benzaldehit ve dimetil anilinden elde edilir. MY, koyu yeşil renkte, kristal yapıda bir katıdır [2]. Sanayide ipek, deri, yün ve pamuk gibi materyalleri mordanlamak amacıyla boyamada kullanılır [3].

Tekstil atıksularının arıtımı fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma yöntemleri olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Arıtma yöntemi seçilirken, tekstil bitim işlemleri, kullanılan kimyasallar, geri kazanılabilirlik ve su tasarrufu gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Arıtma tesisi tasarımı, atıksuyun özelliklerine göre detaylı analizler yapılarak ve farklı arıtma alternatifleri değerlendirilerek gerçekleştirilmelidir [3].

1.1.Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, zeytin üretimi sonrasında ortaya çıkan atık yaprakların yavaş piroliz yöntemiyle işlenerek biyosorban materyal haline getirilmesi ve bu materyalin sulu ortamda bulunan Malahit Yeşili (MY) boyar maddesinin gideriminde etkinliğinin araştırılmasıdır. Katyonik yapıda ve çevresel kalıcılığı yüksek olan Malahit Yeşili'nin geleneksel arıtma yöntemleriyle uzaklaştırılmasında yaşanan zorluklar, alternatif, düşük maliyetli ve çevre dostu çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu doğrultuda, tarımsal bir atık olan zeytin yaprağının değerlendirilmesi hem atık yönetimi açısından hem de su kirliliğiyle mücadelede yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Çalışmada, farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen zeytin yaprağı biyosorbanlarının Malahit Yeşili giderimindeki performansı karşılaştırılmış; adsorpsiyon sürecine etki eden başlıca parametreler olan başlangıç boya konsantrasyonu, temas süresi, biyosorban miktarı ve sıcaklık gibi değişkenlerin etkisi sistematik olarak değerlendirilmiştir. Böylece, çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik yenilikçi, ekonomik ve sürdürülebilir bir biyosorpsiyon yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

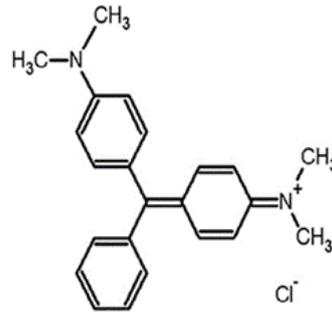
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Biyosorban kaynağı

Bu tez çalışmasında, 2024 yılı zeytin hasat döneminde Bursa ili Mudanya ilçesine bağlı Dereköy Köyü'nde zeytin hasadı sırasında ağaçlardan doğal olarak dökülen yapraklardan oluşan zeytin yaprağı atıkları kullanılmıştır. Bu atıklar, genellikle tarımsal süreçlerde değerlendirilmeyen organik materyaller olup çalışmada alternatif bir kaynak olarak ele alınmıştır.

2.2. Biyosorpsiyon deneyinde kullanılan Malahit Yeşili (MY)

Malahit yeşili (MY), trifenilmetan grubuna ait önemli bir suda çözünür, katyonik (bazik) boyar maddedir [1]. Moleküler formülü $C_{23}H_{25}N_2$ olarak belirtilir. Bu bileşik, benzaldehit ve dimetil anilinün reaksiyonuyla elde edilir. MY, koyu yeşil renkli, kristal formda bir katıdır [2]. Endüstriyel uygulamalarda ipek, deri, yün ve pamuklu materyallerin mordanlama yoluyla renklendirilmesinde kullanılır [3]. Malahit yeşilinin kimyasal yapısı Görsel 2.1'de detaylı olarak sunulmuştur [4].



Görsel 2.1. Malahit yeşili kimyasal yapısı [4]

2.3. Yöntem

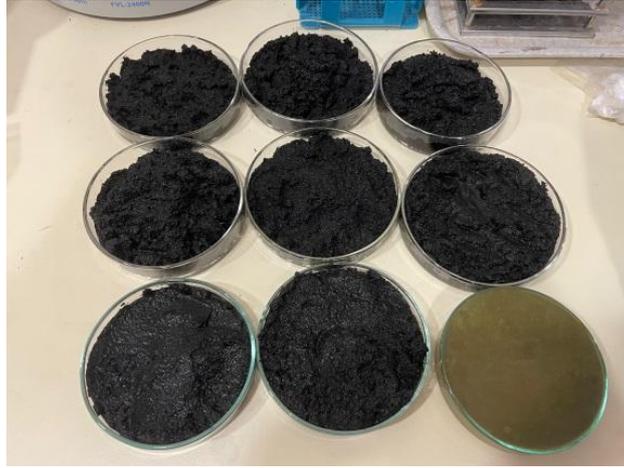
2.3.1. Zeytin Yapraklarının ön muamele işlemi

Toplanan zeytin yaprakları, dallarından elle ayrılmış ve yapraklar ile dallar ayrı ayrı özenle ayıklanmıştır. Yaprak yüzeyindeki kirlerin giderilmesi amacıyla numuneler ilk olarak üç kez çeşme suyu ile yıkanmış, ardından süzülerek üç kez saf su ile durulanmıştır. Temizlenen yapraklar, oda koşullarında 48 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından örnekler, öğütme işlemi için Retsh GM 200 model öğütücüden geçirilmiştir. Elde edilen ince yapılı numuneler, daha sonra Carbolite RHF1400 model kül fırınına alınarak sırasıyla 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda, her bir sıcaklık seviyesi için 2 saat yakılmıştır.



Görsel 2.2. Zeytin Yapraklarının Kül Fırında Yakma Öncesi Hazırlanması ve Kül Fırında Yavaş Piroliz İşlemi

Fırınlama işlemi tamamlandıktan sonra numuneler, oda sıcaklığında 24 saat boyunca soğumaya bırakılmıştır. Soğutulan örnekler, üç kez saf su ile yıkanarak üzerinde kalabilecek toz, kül ve çözünmeyen kalıntılardan arındırılmış, ardından filtre kağıdından geçirilerek analiz için hazırlanmıştır. Filtre kağıdından geçirilen numuneler Görsel 2.3.'de gösterilmiştir.



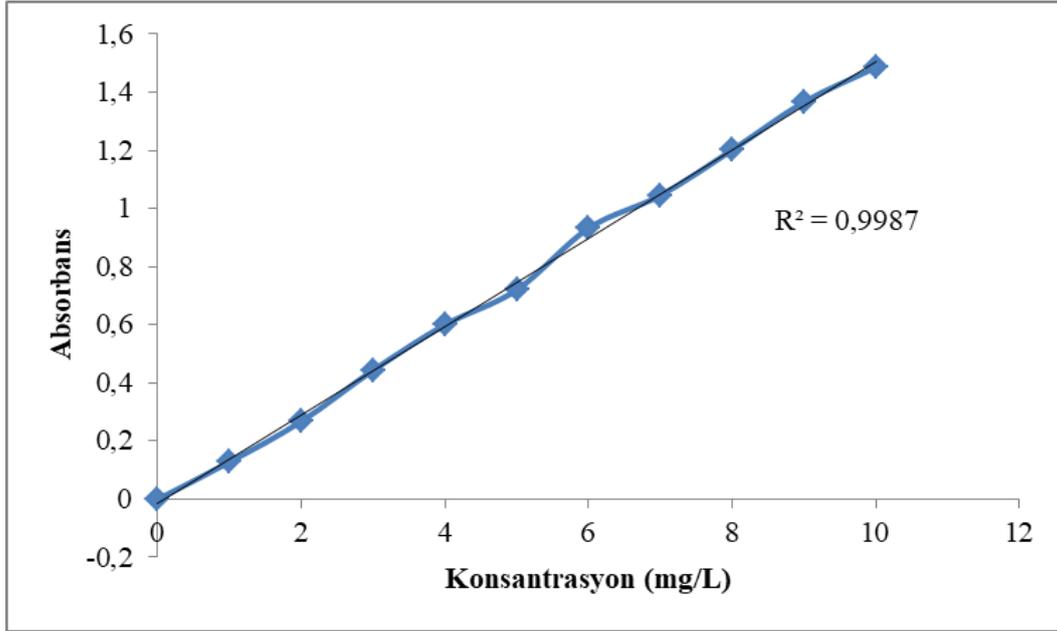
Görsel 2.3. Biyosorpsiyon için hazırlanmış numuneler

2.3.2. Malahit Yeşili Stok Çözeltilisinin Hazırlanması

1 g/L stok MY stok çözeltisi hazırlanarak, oda koşullarında saklanmıştır.

Analitik yöntem doğrulaması kapsamında, farklı konsantrasyonlardaki standart çözeltiler kullanılarak bir kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Bu amaçla, 0 ila 10 mg/L aralığında artan konsantrasyonlara sahip 11 adet standart çözeltinin ilgili dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. Kalibrasyon eğrisi Görsel 2.4 'te gösterilmiştir.

Elde edilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı $R^2 = 0,9996$ olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek uyum katsayısı, yöntemin doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir. Bu denklem, bilinmeyen örneklerin konsantrasyonlarının hesaplanmasında referans olarak kullanılmıştır.



Görsel 2.4. Kalibrasyon Eğrisi

2.3.3. Biyosorpsiyon Deneyleri

Tüm biyosorpsiyon deneyleri, 150 mL hacmindeki Erlenmeyer şişelerinde, 50 mL'lik çalışma hacmi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, Malahit Yeşili boya çözeltisinin başlangıç konsantrasyonları 10, 20, 50, 100 ve 150 ppm olarak belirlenmiştir. Her bir şişeye, ilgili boya konsantrasyonuna karşılık gelecek Görselde biyosorbent ve çözeltisi eklenmiştir. Biyosorbent miktarları 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1; 0,15 ve 0,2 gram olarak seçilmiştir. Hazırlanan bu karışımlar, 125 rpm çalkalama hızıyla 1-255 dakika arasında değişen sürelerde karıştırılarak biyosorbent ile boyar madde arasında temas sağlanmıştır. Çalkalama işleminin ardından çözeltiler berrak tüplere alınarak, boya giderim veriminin belirlenmesi amacıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel düzenek ile, başlangıç boya konsantrasyonu, biyosorbent miktarı ve temas süresi gibi parametrelerin biyosorpsiyon verimi ile adsorbanın tutma kapasitesi üzerindeki etkileri sistematik bir şekilde incelenmiştir. Böylece, Malahit Yeşili boyasının giderimi için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesine yönelik önemli veriler elde edilmiştir.

Biyosorpsiyon sürecine başlangıç boya konsantrasyonunun etkisini değerlendirmek amacıyla, 10, 20, 50, 100 ve 150 ppm olmak üzere beş farklı başlangıç konsantrasyonunda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Biyosorpsiyon sürecinde temas süresinin adsorpsiyon verimine etkisini değerlendirmek amacıyla, 1. dakikadan 255. dakikaya kadar değişen zaman aralıklarında deneysel çalışmalar sistematik bir şekilde yürütülmüştür. Biyosorpsiyon sürecinde başlangıç biyosorbent konsantrasyonunun etkisini analiz etmek amacıyla, 0,25; 0,5; 1; 2; 3 ve 4 g/L olacak şekilde altı farklı başlangıç konsantrasyonunda deneysel çalışmalar sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sıcaklığının adsorpsiyon verimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, sabit adsorbent dozajı kullanılarak (0,05 gram), farklı sıcaklıklarda (25 °C, 30 °C, 35 °C ve 40 °C) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.4 Analitik Yöntemler

Bu çalışmada kullanılan zeytin yaprağı biyosorbentinin boya giderim verimini hesaplamak amacıyla aşağıda verilen formül kullanılmıştır:

$$Giderim Verimi (\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} * 100$$

Burada;

C_0 = Başlangıçtaki boya konsantrasyonu (mg/L),

C_t = Belirli bir temas süresi sonunda çözelti içerisindeki kalan boya konsantrasyonu (mg/L)'dir.

Zeytin yaprağı biyosorbentinin birim kütle başına tuttuğu boya miktarını belirlemek amacıyla tutma kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) * V}{m}$$

Burada;

q_t = Biyosorbentin belirli bir temas süresi sonunda birim kütlesine adsorplanan boya miktarı (mg/g),

C_0 = Başlangıçtaki boya konsantrasyonu (mg/L),

C_t = Belirli bir zaman sonunda kalan boya konsantrasyonu (mg/L),

V = Çözelti hacmi (L),

m = Kullanılan biyosorbent miktarı (g)'dir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

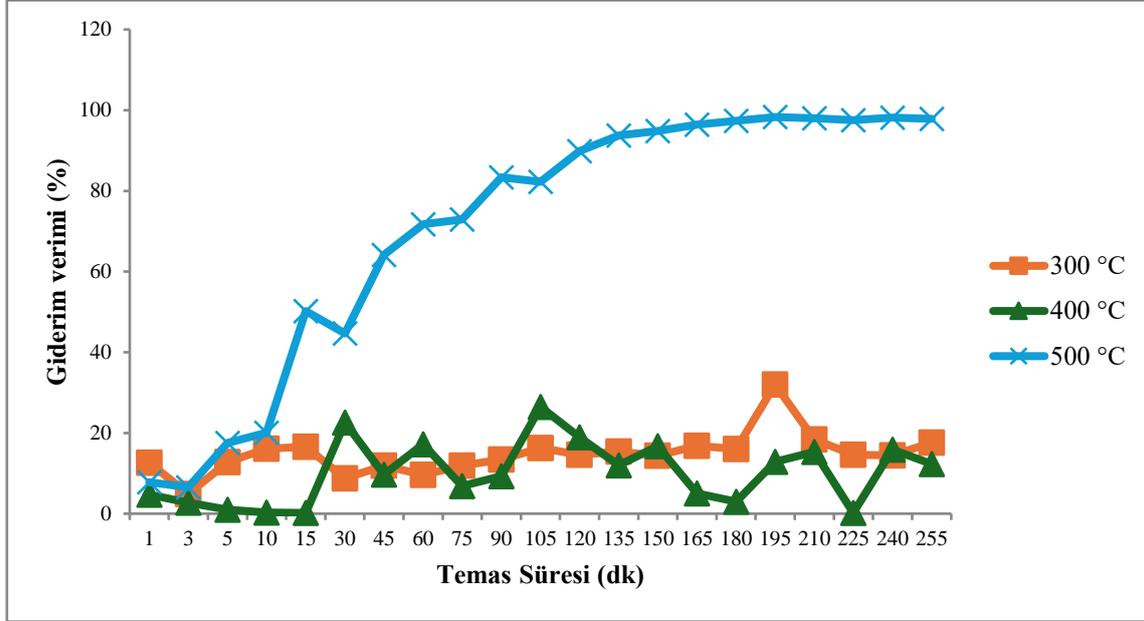
3.1. Numunenin Hazırlanma Sıcaklığın Belirlenmesi

Adsorpsiyon verimi üzerine yakma sıcaklığının etkisini incelemek amacıyla, sabit adsorbent miktarı kullanılarak (0,05 gram), farklı yakma sıcaklıklarında (300 °C, 400 °C, 500 °C) hazırlanmış adsorbentler ile ve ayrıca hiç yakılmamış (ham) numune ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde çözelti hacmi sabit tutulmuş ve her biri 50 mL olacak Görselde hazırlanmıştır. Deneyler, 100 mL'lik numaralandırılmış erlenmayerlerde yürütülmüş ve her birine sabit miktarda adsorbent ilave edilmiştir.

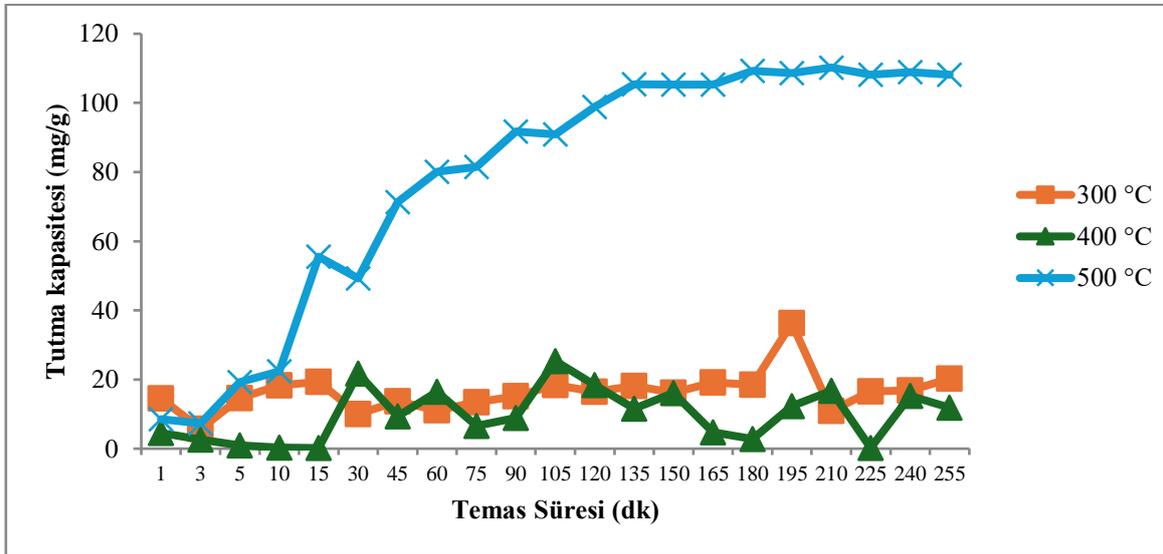
Adsorpsiyon işlemi, her bir yakma sıcaklığı (ve yakılmamış kontrol grubu) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve tüm deneylerde karıştırma hızı 125 rpm sıcaklık 35 °C olarak sabit tutulmuştur. Deney süresince, temas süresine bağlı olarak örnekler 1 ile 255 dakika arasında (1, 3, 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 ve 255. dakikalarda)

karıştırma işleminden alınmıştır. Her bir temas süresi sonunda adsorpsiyon işlemi sonlandırılmış ve numunelerin kalan derişimleri UV-VIS spektrofotometresi ile ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, farklı yakma sıcaklıklarında hazırlanan adsorbentlerle gerçekleşen adsorpsiyon süreçlerine ait giderim verimi ve tutma kapasitesi hesaplanmış; bu veriler Görsel 3.1 ve Görsel 3.2 'te grafiksel olarak sunulmuştur.



Görsel 3.1. Farklı yakma sıcaklığına göre elde edilen verim grafiği



Görsel 3.2. Farklı yakma sıcaklığına göre elde edilen tutma kapasitesi grafiği

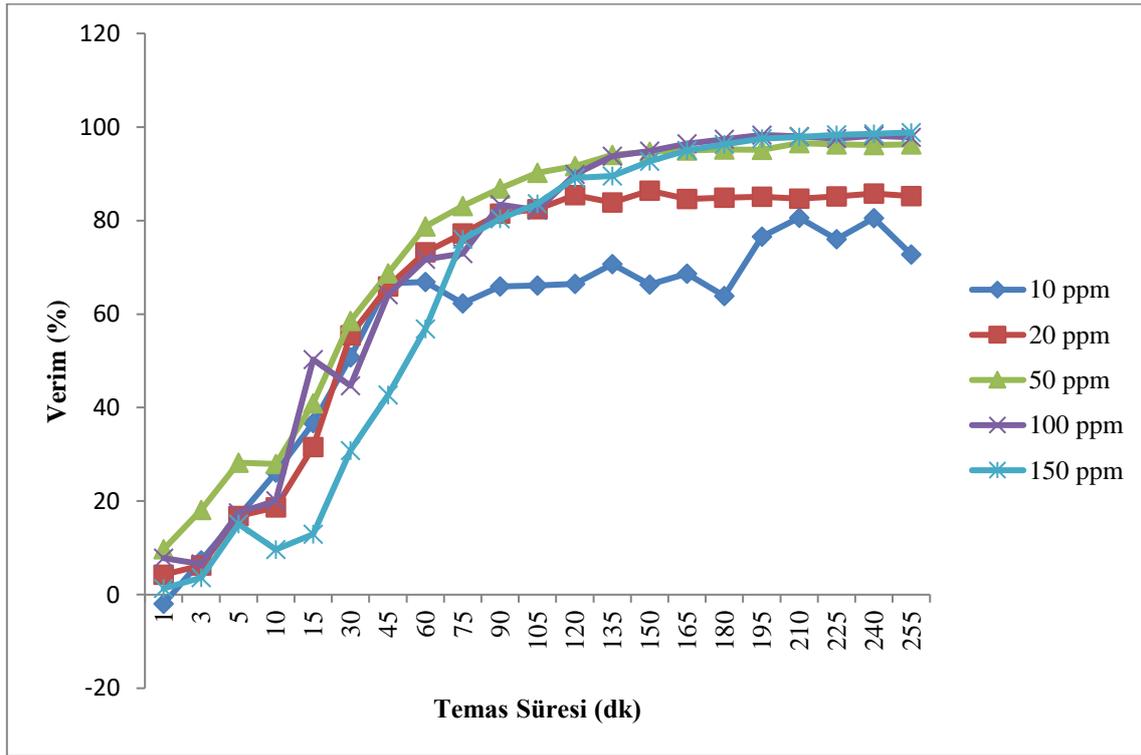
Farklı sıcaklıklarla gerçekleştirilen deneylerin grafiksel analizleri, 500 °C'de yakılmış numunenin en verimli sonuçları sağladığını göstermektedir. Elde edilen veriler, en yüksek

giderim verimi ile maksimum tutma kapasitesinin 500 °C’de yakılan numune ile elde edildiğini ortaya koymuştur.

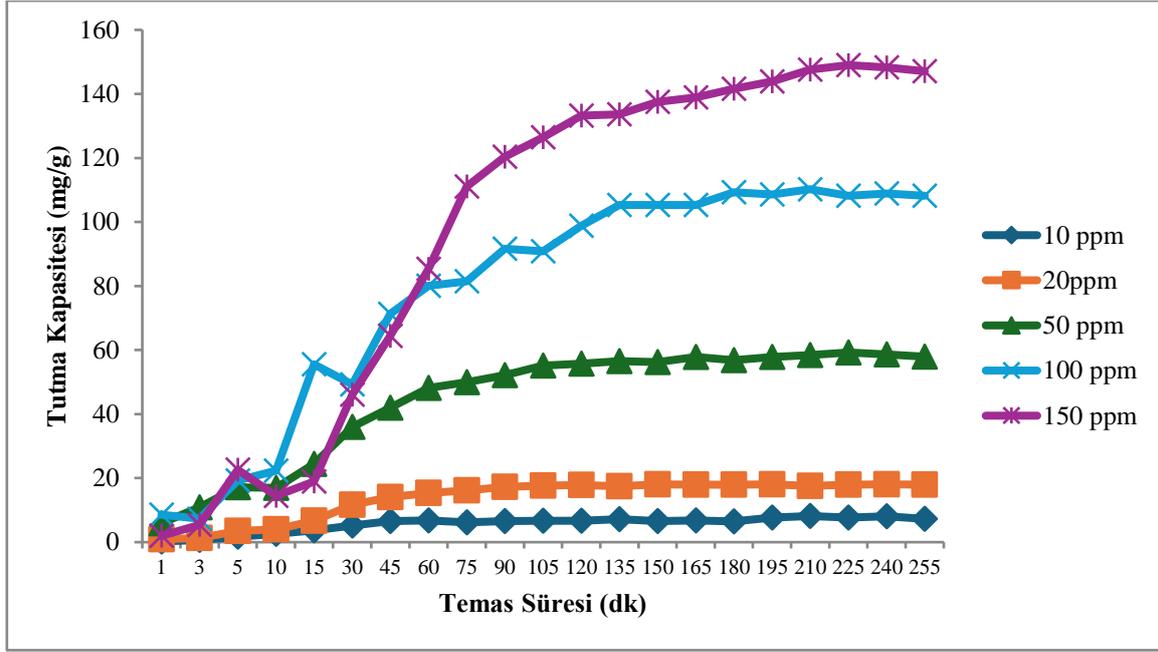
3.2. Başlangıç Boya Konsantrasyonlarının Etkisinin İncelenmesi

Atıksulardaki boya konsantrasyonları, işletmenin üretim türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle, farklı başlangıç boya konsantrasyonlarında giderim verimlerinin değerlendirilmesi gereklidir. Bu amaçla, sabit 0,05 gram adsorbent dozajı kullanılarak çeşitli başlangıç boya konsantrasyonlarına (10 ppm, 20 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm) etkisini incelemek üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Farklı boya konsantrasyonlarına sahip çözeltiler hazırlanarak numaralandırılmış 100 mL’lik erlenmayerlere aktarılmıştır. Deneyler, 30 °C sıcaklıkta ve 125 rpm karıştırma hızıyla yürütülmüş; temas süreleri 1, 3, 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 ve 255 dakika olarak belirlenmiştir. Her bir temas süresinin sonunda karıştırma işlemi sonlandırılmış ve numunelerin artık konsantrasyonları UV-VIS spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda, giderim verimi ve tutma kapasitesine ilişkin grafikler Görsel 3.3 ve Görsel 3.4’te sunulmuştur.



Görsel 3.3. Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği



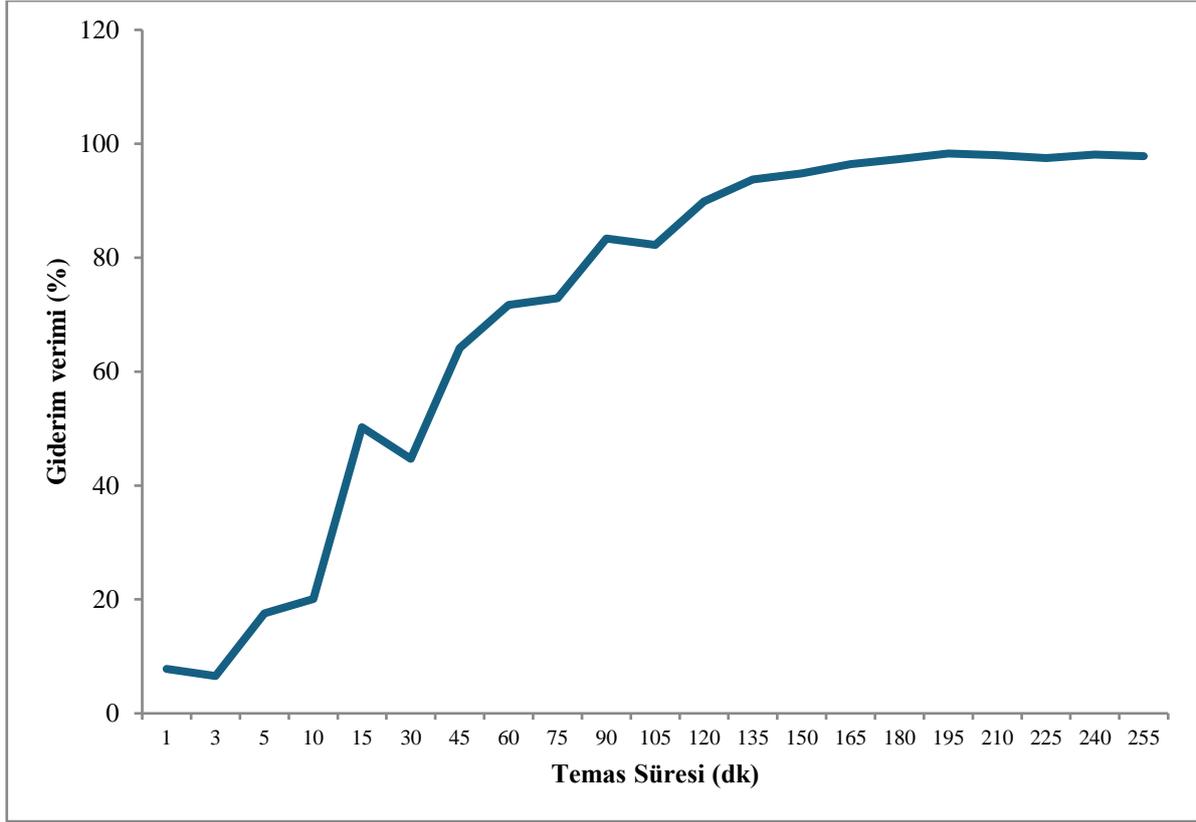
Görsel 3.4. Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonlarına göre elde edilen tutma kapasitesi grafiği

Başlangıç boya konsantrasyonlarına yönelik gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde, boya konsantrasyonundaki artışın hem tutma kapasitesi hem de giderim verimi üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek giderim verimi ve tutma kapasitesi 150 ppm ve 100 ppm başlangıç boya konsantrasyonlarında elde edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, deneysel çalışmalara 100 ppm başlangıç konsantrasyonuna sahip boya çözeltisi ile devam edilmiştir.

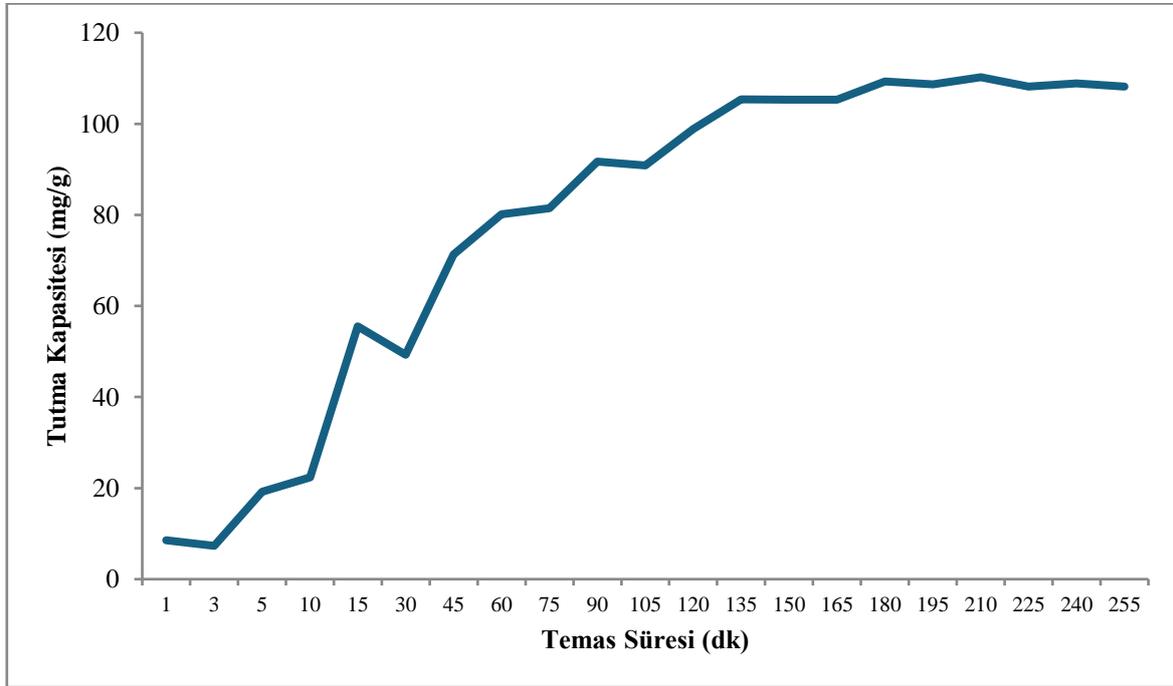
3.3. Temas süresinin etkisinin incelenmesi

Adsorbentin temas süresinin adsorpsiyon üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, farklı temas sürelerinde (1, 3, 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 ve 255 dakika) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm çözeltiler 50 mL hacminde hazırlanmış ve her birine sabit olarak 0,05 gram adsorbent eklenmiştir. Deneyler, 100 mL'lik numaralandırılmış erlenmayerlerde yürütülmüş, karıştırma hızı 125 rpm ve sıcaklık 30 °C olarak sabit tutulmuştur. Çalışmalarda 100 ppm boya çözeltisinde 500 derecede yakılmış zeytin yaprağı numunesi kullanılmıştır.

Belirlenen temas sürelerinin sonunda karıştırma işlemi sonlandırılmış ve her bir numunenin artık derişimi UV-VIS spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda giderim verimi ve tutma kapasitesine ilişkin grafikler Görsel 3.5 ve Görsel 3.6'da sunulmuştur.



Görsel 3.5. Uygulanan temas süresine göre elde edilen verim grafiği



Görsel 3.6. Uygulanan temas süresine göre elde edilen tutma kapasitesi grafiği

Her iki grafikte de temas süresi, tutma kapasitesi ve verim üzerinde genel olarak olumlu bir etkiye sahiptir. Artan temas süresi, daha fazla maddenin tutulmasına ve verimin artmasına

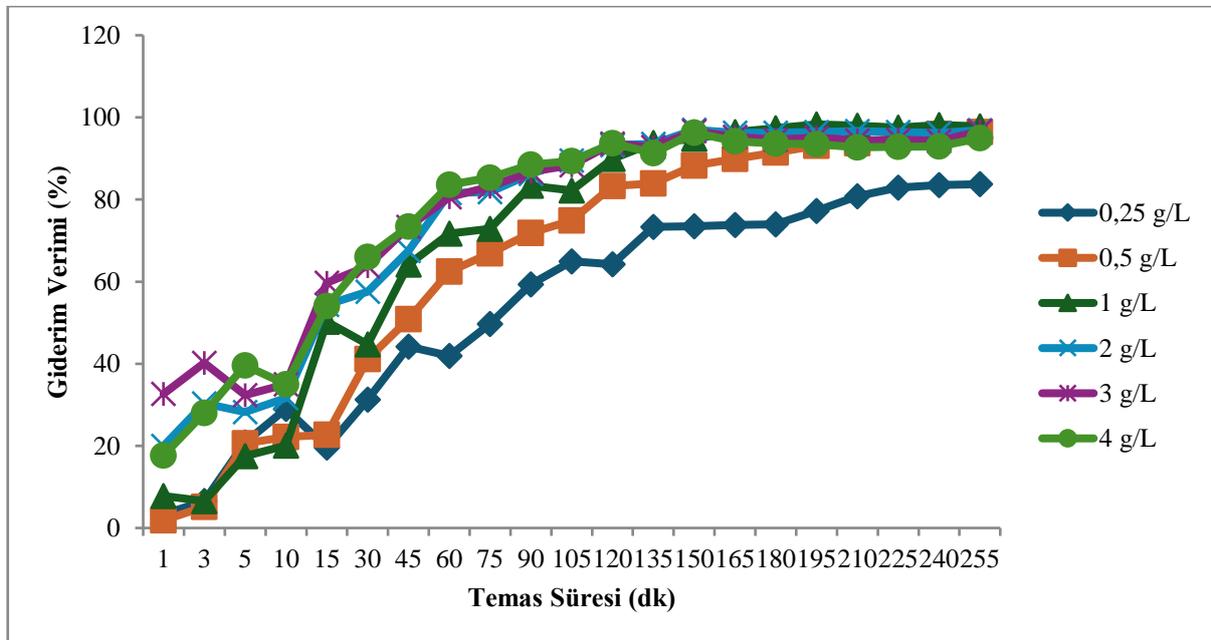
olanak tanır. Verim grafiğinde, temas süresi arttıkça verim artar ve doygunluğa yaklaşır; özellikle ilk 60 dakikada hızlı bir artış gözlenir. Sonuç olarak, yeterli temas süresi hem tutma kapasitesini hem de verimi artırarak daha etkili bir tutma süreci sağlar. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda %97,81 verimle 255. dakika optimum temas süresi olarak belirlenmiştir.

3.4. Biyosorbent konsantrasyonlarının etkisinin incelenmesi

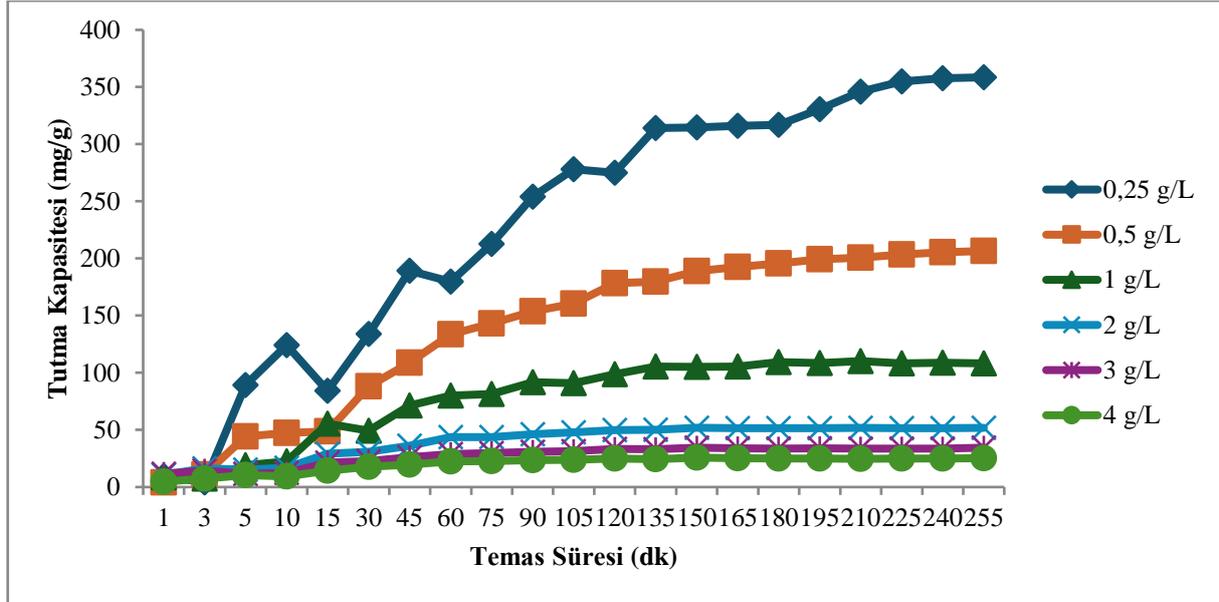
Adsorbent dozajının adsorpsiyon üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, farklı miktarlarda adsorbent (0,25-4 g/L) kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde çözelti hacmi sabit tutulmuş ve her biri 50 mL olacak Görselde hazırlanmıştır. Deneyler, 100 mL'lik numaralandırılmış erlenmayerlerde yürütülmüş; belirlenen miktarlarda adsorbent ilavesi yapılmıştır.

Adsorpsiyon işlemi, 30 °C sıcaklıkta ve 125 rpm sabit karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Deney süresince temas süresine bağlı olarak örnekler, 1 ile 255 dakika arasında (1, 3, 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 ve 255. dakikalarda) karıştırma işleminden alınmıştır. Her bir temas süresi sonunda, adsorpsiyon işlemi durdurulmuş ve numunelerin kalan derişimleri UV-VIS spektrofotometresi ile ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, adsorbent dozajına bağlı olarak değişen giderim verimi ve adsorban tutma kapasitesi hesaplanmış; bu veriler Görsel 3.7 ve Görsel 3.8'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Görsel 3.7. Biyosorbent miktarına göre elde edilen verim grafiği



Görsel 3.8. Biyosorbent miktarına göre elde edilen tutma kapasitesi grafiği

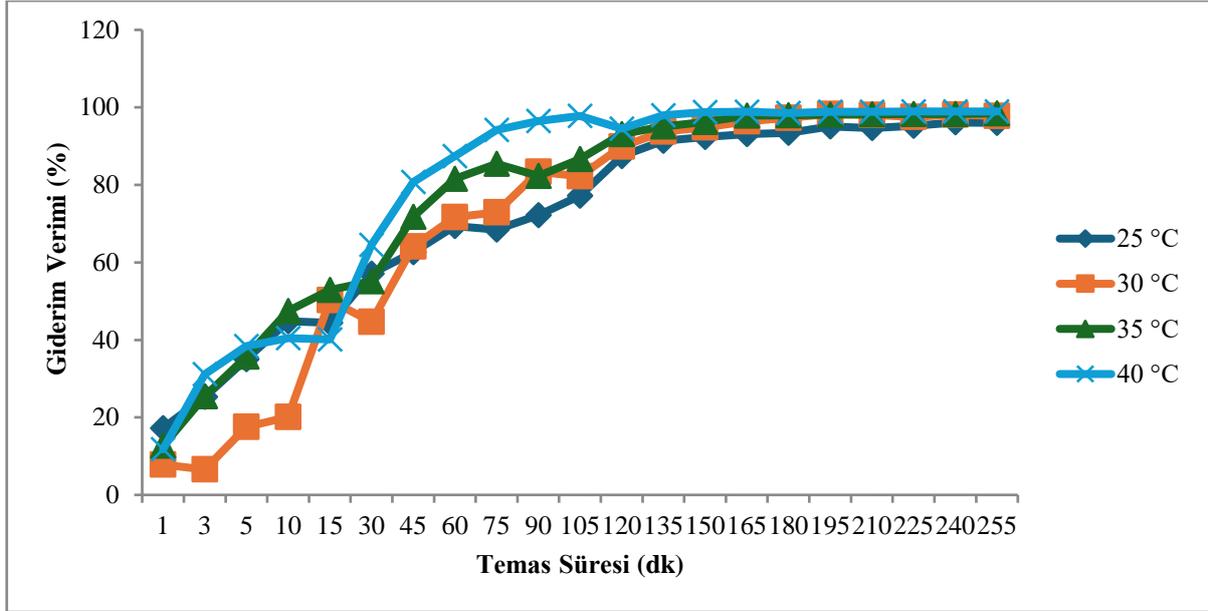
Yapılan adsorbent dozajının adsorpsiyon üzerine etkisini inceleyen deneysel çalışma sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde, 100 ppm başlangıç konsantrasyonunda 0,05 gram adsorbent dozajında %97,81 giderim verimi elde edildiği gözlemlenmiştir. Öte yandan, maksimum tutma kapasitesinin ise 0,0125 gram adsorbent dozajında gerçekleştiği belirlenmiştir.

3.5. Sıcaklık

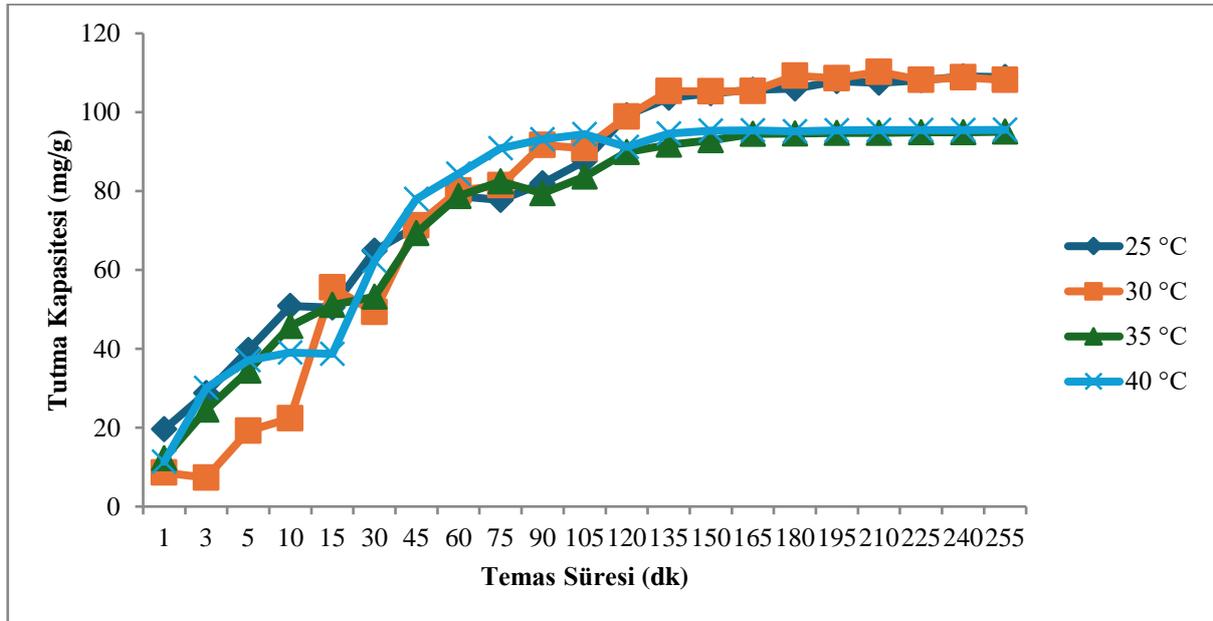
Adsorpsiyon sıcaklığının adsorpsiyon verimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, sabit adsorbent dozajı kullanılarak (0,05 gram), farklı sıcaklıklarda (25 °C, 30 °C, 35 °C ve 40 °C) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde çözelti hacmi sabit tutulmuş ve her biri 50 mL olacak Görselde hazırlanmıştır. Deneyler, 100 mL'lik numaralandırılmış erlenmayerlerde yürütülmüş ve her birine sabit miktarda adsorbent ilave edilmiştir.

Adsorpsiyon işlemi, her bir sıcaklık için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve tüm deneylerde karıştırma hızı 125 rpm olarak sabit tutulmuştur. Deney süresince temas süresine bağlı olarak örnekler, 1 ile 255 dakika arasında (1, 3, 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 ve 255. dakikalarda) karıştırma işleminden alınmıştır. Her bir temas süresi sonunda adsorpsiyon işlemi sonlandırılmış ve numunelerin kalan derişimleri UV-VIS spektrofotometresi ile ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, farklı sıcaklıklarda gerçekleşen adsorpsiyon süreçlerine ait giderim verimi ve tutma kapasitesi hesaplanmış; bu veriler Görsel 3.9 ve Görsel 3.10'da grafiksel olarak sunulmuştur.



Görsel 3.9. Sıcaklığına göre elde edilen verim grafiği



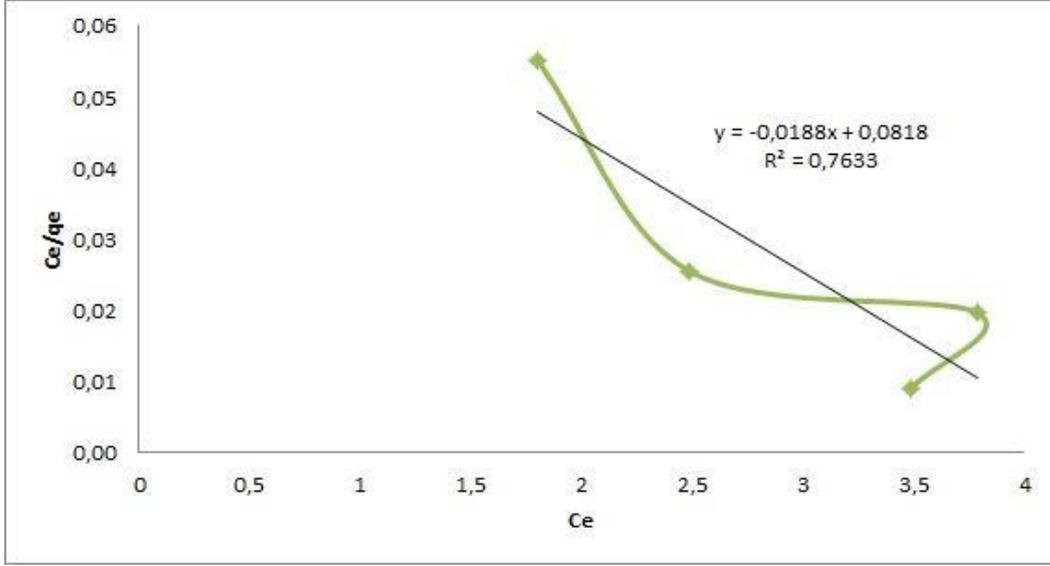
Görsel 3.10. Sıcaklığına göre elde edilen tutma kapasitesi grafiği

Karıştırma sıcaklığı üzerine yapılan deneylerin grafiksel sonuçları, sıcaklık artışının hem tutma kapasitesini hem de giderim verimliliğini olumlu yönde etkilediğini net bir Görselde göstermektedir. Deney verileri, en yüksek giderim verimi ve tutma kapasitesinin 40 °C karıştırma sıcaklığında elde edildiğini ortaya koymuştur.

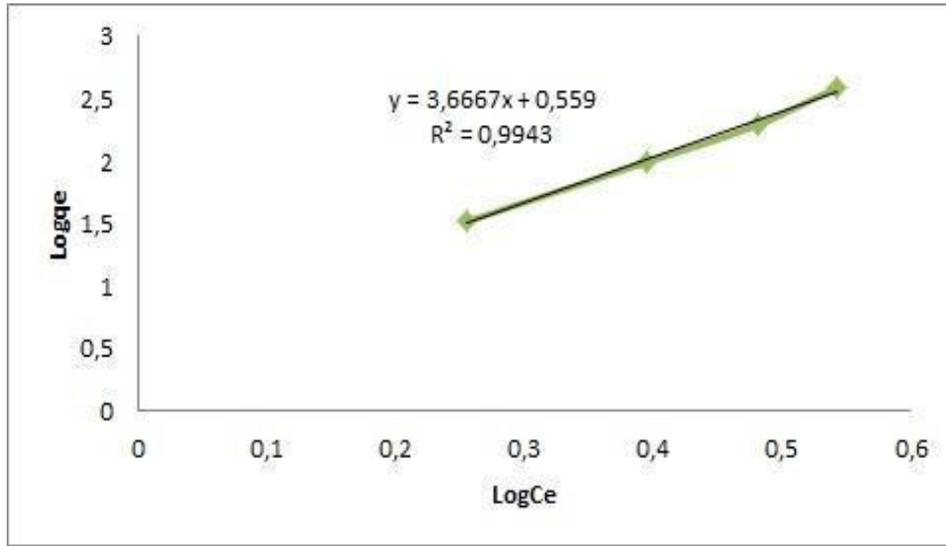
Bu sonuçlara dayanarak, çalışmada belirlenen en uygun deneysel koşullar şunlardır: 500 °C'de yakılmış numune kullanılarak, 100 ppm boya konsantrasyonunda, 0,05 g madde miktarıyla, 255 dakika temas süresi boyunca ve 40 °C karıştırma sıcaklığında işlem gerçekleştirilmesi.

3.6. İzoterm Çalışmaları

Langmuir İzoterm grafiği Görsel 3.11’de, Freundlich İzoterm grafiği Görsel 3.12’de verilmiştir.



Görsel 3.11. Langmuir İzoterm Grafiği



Görsel 3.12. Freundlich İzoterm Grafiği

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tekstil endüstrisine ait atıksulardan Malahit Yeşili (MG) boyar maddesinin giderimi amacıyla, Bursa ili Mudanya ilçesinde hasat döneminde elde edilen zeytin yaprağı atıkları kullanılarak alternatif bir biyosorban geliştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda (300 °C, 400 °C, 500 °C) yakılan zeytin yaprağı örnekleriyle yürütülen biyosorpsiyon deneyleri sonucunda, 500 °C’de işlenen biyosorbanın hem boya giderim veriminde hem de tutma kapasitesinde en yüksek performansı sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıkta karbonlaştırılmış

biyokütlelerin daha gözenekli yapılar kazandığı ve adsorpsiyon için daha fazla aktif bölge oluşturduğu hipoteziyle örtüşmektedir.

DeneySEL parametreler dikkate alındığında; temas süresinin artırılması, biyosorban konsantrasyonunun yükseltilmesi ve sıcaklığın artışı, adsorpsiyon verimini olumlu yönde etkilemiştir. Başlangıç boya konsantrasyonunun ise belirli bir düzeye kadar biyosorpsiyon verimini artırdığı, ancak aşırı konsantrasyonlarda doyumluğa ulaşılması nedeniyle verimin sabitlendiği gözlemlenmiştir. İzoterm modellemeleri sonucunda, Freundlich izoterminin deneysel verilerle daha yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiş; bu da adsorpsiyonun heterojen yüzeyde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar, zeytin yaprağı atığının düşük maliyetli ve çevre dostu bir biyosorban alternatifi olarak tekstil atıksularının arıtımında etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, zeytin yaprağının işlenmesi yerel kaynakların değerlendirilmesine ve sürdürülebilir atık yönetimi politikalarına katkı sağlayabilecek çevreci bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2024 Yılı 1. Dönem 1919B012426914 numaralı başvuru ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 25LÖP197 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Yalvaç, G. M., *Karbonize Mandalina Kabuğu ve Sıfır Değerlikli Nano Demir İçeren Adsorbentlerin Hazırlanması ve Malahit Yeşilinin Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018.
- [2] Çiçekçi, A., *Doğal Şeftali Çekirdeği ile Malahit Yeşilinin Adsorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2019.
- [3] Bilin, F., *Kayısı Çekirdeği Kabuğu ile Metilen Mavisi, Malahit Yeşili ve Bakır (II) Biyosorpsiyonu*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2014.
- [4] Bagheri, R., Ghaedi, M., Asfaram, A., Alipanahpour Dil, E. ve Javadian, H., RSM CCD Design of Malachite Green Adsorption onto Activated Carbon with Multimodal Pore Size Distribution Prepared from *Amygdalus scoparia*: Kinetic and Isotherm Studies, *Polyhedron*, 171, 464–472, 2019.

FARKLI BİLYE MALZEMELERİNİN AISI 304 ÜZERİNDEKİ SÜRTÜNME VE AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi, MAHMUT ÇELİK

Erciyes Üniversitesi, mahmutcelik@erciyes.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4272-1319

Doç. Dr. EMİNE ŞİRİN

Düzce Üniversitesi, eminesirin@duzce.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9561-2453

ÖZET

Bu çalışmada, yaygın olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğinin, farklı karşı yüzey malzemeleri ile temasında gösterdiği tribolojik davranış incelenmiştir. Deneysel çalışmada karşı yüzey malzemesi olarak biri metalik (100Cr6) ve ikisi seramik esaslı (Al_2O_3 ve WC) olmak üzere üç farklı bilye kullanılmıştır. Her bir karşı malzeme, üç farklı normal yük altında AISI 304 yüzeyine karşı sürtünme ve aşınma testine (ball-on-disk) tabi tutulmuştur. Testler sırasında sürtünme katsayıları zamanla izlenmiş ve test sonrasında oluşan aşınma izleri optik mikroskop ile analiz edilmiştir. Bulgular, karşı yüzey malzemesinin sertliği ve yapısal özelliklerinin AISI 304 üzerindeki aşınma tipi ve miktarı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca uygulanan yük düzeyinin sürtünme kuvveti ve aşınma davranışını belirgin biçimde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu çalışma, tribolojik performans açısından farklı bilye malzemelerinin AISI 304 ile etkileşimini karşılaştırmalı olarak ortaya koymakta ve uygun malzeme seçimi konusunda mühendislik uygulamalarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Triboloji, Aşınma davranışı, Ball-on-disk.

1. GİRİŞ

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği, yüksek korozyon direnci, iyi şekillendirilebilirlik ve kaynaklanabilirlik özellikleri sayesinde endüstride en yaygın kullanılan paslanmaz çeliklerden biridir. Bu alaşım; gıda işleme ekipmanları, mutfak gereçleri, medikal cihazlar, kimya tesisleri, nükleer reaktörlerde kullanılan boru hatları ve ısı eşanjörleri gibi kritik alanlarda tercih edilmektedir [1–3]. Özellikle gıda ve tıp endüstrisinde biyouyumluluk ve hijyen özellikleri, enerji ve nükleer sektörde ise yüksek sıcaklıklarda korozyon direnci ön plana çıkmaktadır [3]. Ancak tüm bu üstün özelliklerine rağmen AISI 304 paslanmaz çeliğinin tribolojik performansı sınırlıdır. Kuru kayma koşullarında sürtünme katsayısı yüksek, aşınma direnci ise düşüktür. Bu durum, özellikle mekanik temasın yoğun

olduğu endüstriyel uygulamalarda malzemenin kullanım ömrünü azaltan önemli bir problemdir [4].

Bu nedenle son yıllarda AISI 304'ün yüzey özelliklerini iyileştirerek malzemenin aşınma direnci artırılmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden bir tanesi düşük sıcaklık plazma karbonlama (LTPC), olup yüzeyde genişlemiş östenit tabakası (S-fazı) oluşturarak sertliği ve aşınma direncini artırmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, bu işlem sonrasında yüzey sertliğinin arttığını ve aşınma direncinde belirgin iyileşmeler sağlandığını ortaya koymuştur [5–7]. Barcelos ve arkadaşları, LTPC işlemine tabi tutulmuş AISI 304 numunelerde, sertliğin 200 HV'den 470 HV'ye yükseldiğini ve mikro-aşındırıcı aşınma testlerinde belirgin iyileşme sağlandığını bildirmiştir [8]. Benzer şekilde, Sun ve Bell tarafından yapılan çalışmalarda da genişlemiş östenit tabakasının korozyon direncini korurken aşınma direncini artırdığı vurgulanmıştır [5].

Bir diğer yüzey iyileştirme yöntemi olan tuz banyosu nitrüleme (SBN) ile de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Mamatha Gandhi ve arkadaşları, tuz banyosu nitrüleme işleminden geçirilen AISI 304 numunelerde yüzey sertliğinin 330 HV'den 835 HV'ye yükseldiğini ve aşınma kayıplarının %50'den fazla azaldığını rapor etmiştir [9]. Bu çalışmada, yüzeyde oluşan genişlemiş östenit tabakasının tribolojik performansı önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmiştir. Öte yandan, aşınma davranışının yalnızca yüzey modifikasyonlarıyla değil, aynı zamanda servis koşullarıyla da yakından ilişkili olduğu bilinmektedir. Özellikle sıcaklığın tribolojik mekanizmalar üzerindeki etkisi, endüstriyel uygulamalar için kritik öneme sahiptir. Karabeyoğlu ve arkadaşları, AISI 304L çeliğinin farklı sıcaklıklardaki (25–200 °C) aşınma davranışını incelemiş ve düşük sıcaklıklarda adezif aşınmanın, 150 °C'nin üzerinde ise oksidatif ve abrazif aşınmanın baskın hale geldiğini göstermiştir [3]. Bu bulgu, çalışma ortamı sıcaklığının aşınma mekanizmasının belirleyici bir parametresi olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde ayrıca tane boyutu, yüzey tekstürleme ve nano-yapılandırma gibi parametrelerin de AISI 304'ün tribolojik davranışına etkileri araştırılmıştır. Qin ve arkadaşları, nano-taneli 304L paslanmaz çeliğin daha yüksek mikrosertlik gösterdiğini ve dolayısıyla daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu belirtmiştir [10]. Martin ve Ajayi, yüzeyin SiC ile tekstürlenmesi sonucunda sürtünme katsayısının düştüğünü ve aşınma direncinin iyileştiğini rapor etmiştir [11]. Saada ve arkadaşları, nanokristal tabaka oluşturulmuş AISI 304L çeliğin konvansiyonel yapıya göre daha iyi aşınma performansı gösterdiğini bildirmiştir [12].

Bu çalışmalar, AISI 304'ün tribolojik özelliklerini geliştirmek için farklı yüzey mühendisliği yöntemlerinin ve parametrelerin etkili olduğunu ortaya koysa da, önemli bir araştırma boşluğu bulunmaktadır. Çoğu çalışma tek tip karşıt yüzey malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir; örneğin yalnızca alumina (Al_2O_3), silisyum karbür (SiC) veya çelik bilyelerle yapılan testler

yaygındır [3, 8, 9]. Oysa gerçek endüstriyel koşullarda AISI 304 farklı sertlik, elastisite ve kimyasal özelliklere sahip karşıt yüzeylerle temas etmektedir. Bu nedenle, farklı bilye malzemelerinin AISI 304 üzerindeki sürtünme katsayısı, aşınma oranı ve aşınma mekanizması üzerindeki etkilerinin sistematik olarak karşılaştırılması gereklidir.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Araştırmada, farklı bilye malzemelerinin AISI 304 paslanmaz çeliğin sürtünme ve aşınma davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Böylece karşıt malzeme çeşitliliğinin de tribolojik performansa katkısı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların, AISI 304'ün farklı endüstriyel senaryolarda güvenilir şekilde kullanılmasına yönelik daha geniş bir perspektif sunacağı düşünülmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. İş Parçası

Çalışmada ticari olarak temin edilmiş 50x80x4 mm boyutlarındaki AISI 304 plakalar kullanılmış olup bu malzemeye ait mekanik ve fiziksel özellikler ve kimyasal bileşim sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 1. AISI 304 Malzemesinin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Elastik Modül (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
540-750	230	45	193	8.00

Çizelge 2. AISI 304 Malzemesinin Kimyasal Bileşimi

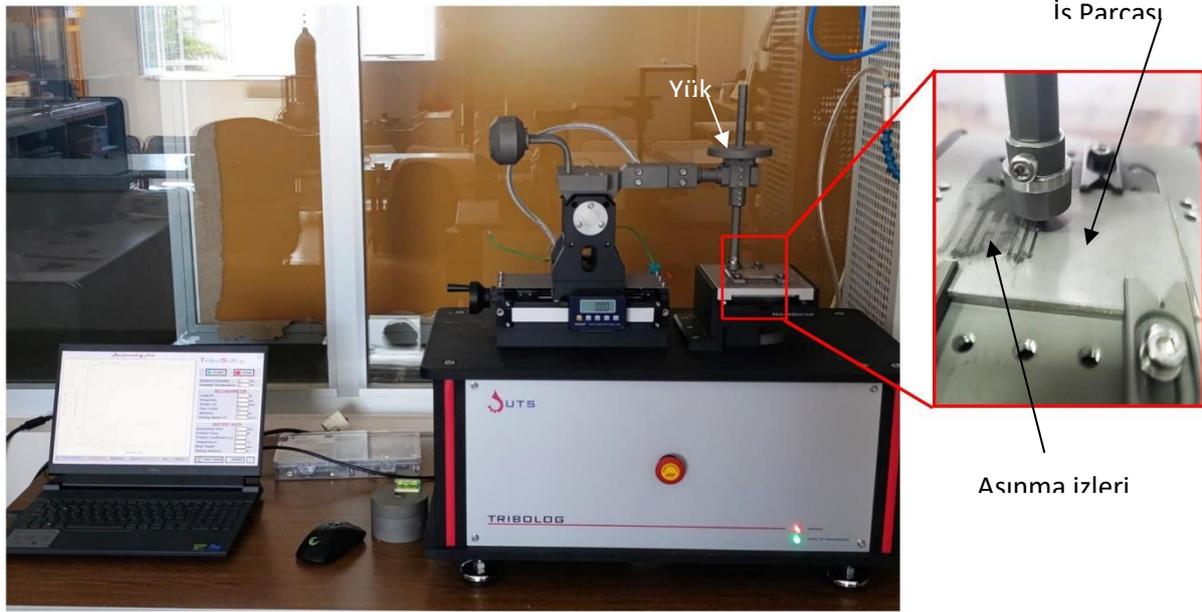
C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Fe (%)
0.00-0.07	0.0-2.0	0.0-1.0	0.0-0.05	0-0.03	17.5-19.5	8.0-10.5	Kalan

2.2. Deney Parametreleri, Deneylerin Yapılması ve Ölçümler

Deneylerde, karşı malzeme çeşidinin farklı yüklerde sürtünme katsayısı ve aşınma dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu faktörlere bağlı olarak tam faktöriyel deneysel tasarım kullanılmış olup Çizelge 3'te deney parametreleri ve faktör seviyeleri görülmektedir. Deneyler UTS tribolog cihazında ball-on-disc stratejisinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bilya olarak 6 mm çapında Al₂O₃, WC ve 100Cr6 bilyalar kullanılmış olup deneyler oda sıcaklığında 120 mm/s kayma hızında 200 m kayma mesafesinde 20 mm stroke ile gerçekleştirilmiştir. Görsel 1'de deneylerin gerçekleştiği cihaz ve iş parçası görülmektedir.

Çizelge 3. Deney parametreleri ve faktör seviyeleri

Deney No	Karşı Malzeme	Kuvvet (N)
1	Al ₂ O ₃	5
2	Al ₂ O ₃	10
3	Al ₂ O ₃	20
4	WC	5
5	WC	10
6	WC	20
7	100Cr6	5
8	100Cr6	10
9	100Cr6	20



Görsel 1. Deney düzeneği

Deneyler sonrasında, sürtünme katsayısı değerleri UTS Tribolog cihazı tarafından bilgisayar aracılığıyla kayıt altına alınmıştır. Ayrıca aşınma izlerine ait profiller ise Accretch HandySurf+ portatif yüzey profilometresi tarafından çıkarılmış olup, aşınma izlerinin görüntüleri ise Hayear marka dijital mikroskop aracılığıyla alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Sürtünme Katsayıları

Yapılan sürtünme aşınma deneylerine ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri Çizelge 4'te görülmektedir. Çizelge incelendiğinde Al₂O₃, WC ve 100Cr6 karşı malzemelerinin AISI 304 malzemesiyle yapmış olduğu sürtünme aşınma deneylerinde ortalama olarak sırasıyla 0.70, 0.66 ve 0.62 sürtünme katsayısı değerleri olduğu görülmektedir. Al₂O₃ malzemenin sahip olduğu yüksek sertlik ve malzemenin seramik olması sebebiyle aşınma mekanizmasının zamanla kesme mekanizmasını da barındırmasıyla birlikte sürtünme katsayısının arttığı

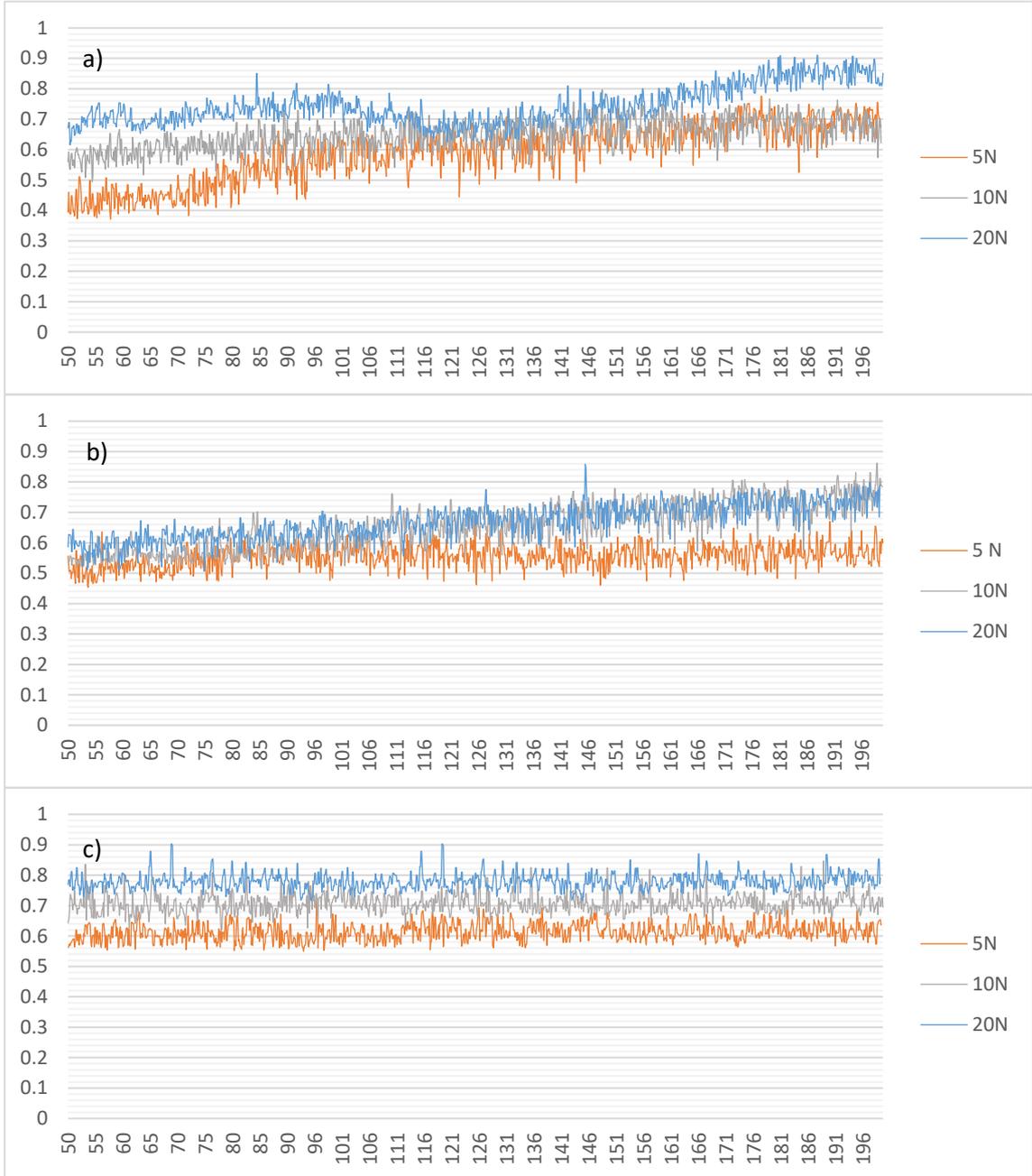
düşünülmektedir. WC ve 100Cr6 malzemelerinin sürtünme katsayıları benzerlik göstermekle birlikte özellikle yüksek kuvvetlerde WC malzemesinin artan aşınma süresiyle birlikte Al_2O_3 ile benzer mekanizmayla sürtünme katsayıları artmaktadır. Ayrıca bütün karşı malzeme çeşitlerinde uygulanan kuvvetin artmasıyla birlikte ortalama sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. Tüm malzemelerde uygulanan yük 5 N'dan 10 N'a yükseldiğinde ortalama sürtünme katsayısı değerlerinde %20 artış meydana gelmiştir. Uygulanan yük 10 N'dan 20 N'a yükseldiğinde ise ortalama sürtünme katsayısı değerlerinde %10'luk bir artış meydana gelmiştir. Bu durum artan kuvvetle birlikte gerçek temas alanının artması ve yüzeydeki asperitelerin daha fazla ezilmesi ve plastik deformasyon oluşumuyla ilişkilendirilebilir [13]. Deneylere ait sürtünme grafikleri Görsel 2 ve 3' te malzeme ve yük bazlı görülmektedir. Sürtünme katsayısı grafikleri alınırken malzemelerin birbirleriyle sürtünmeye başladığı ilk 50 metrelik kısım kayıt dışı tutularak standardizasyon sağlanmıştır.

Çizelge 3. Deney parametreleri ve faktör seviyeleri

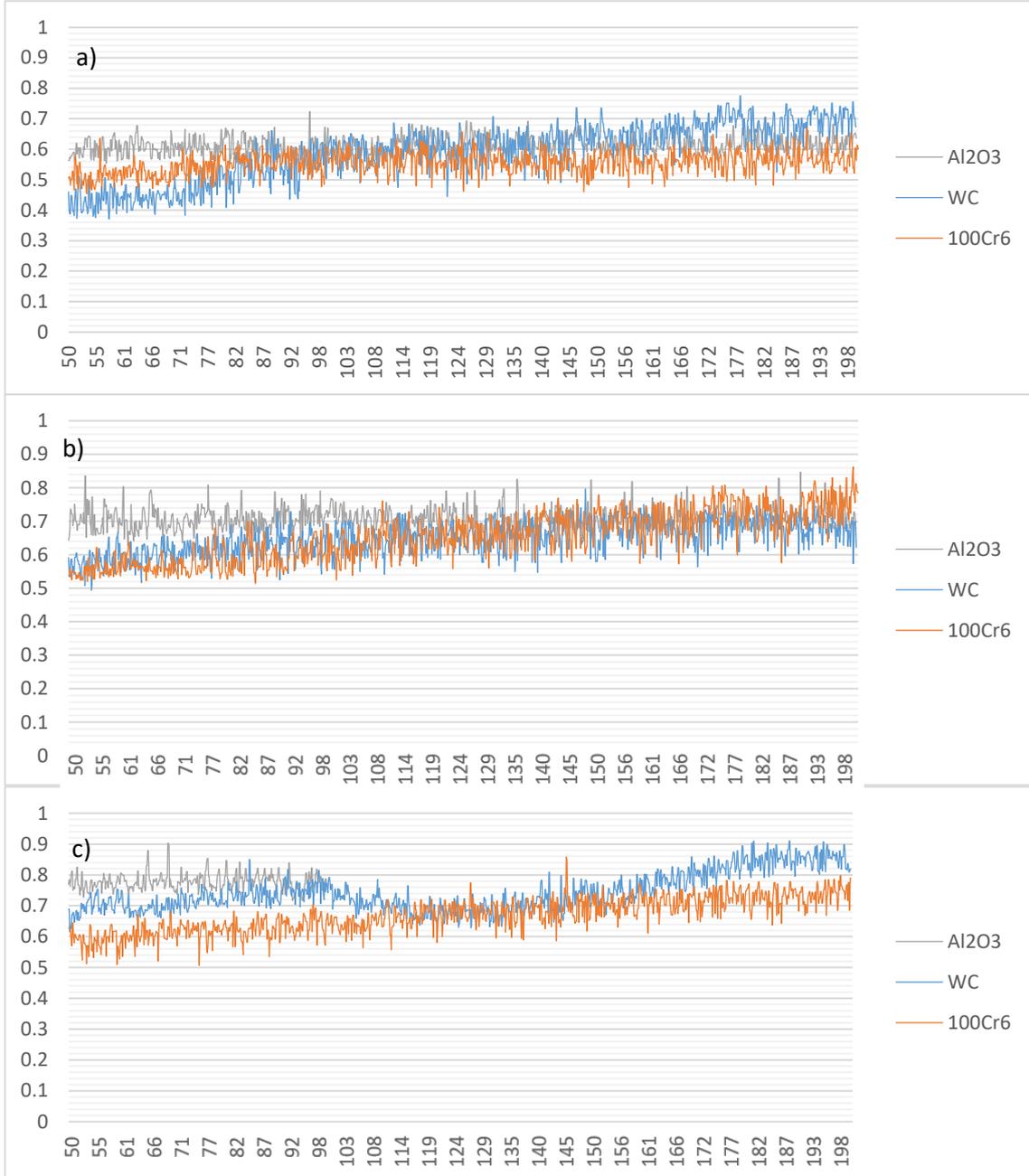
Deney No	Karşı Malzeme	Kuvvet (N)	Sürtünme Katsayısı (ort)
1	Al_2O_3	5	0.61
2	Al_2O_3	10	0.70
3	Al_2O_3	20	0.78
4	WC	5	0.59
5	WC	10	0.65
6	WC	20	0.74
7	100Cr6	5	0.55
8	100Cr6	10	0.65
9	100Cr6	20	0.67

3.2. Aşınma Profilleri

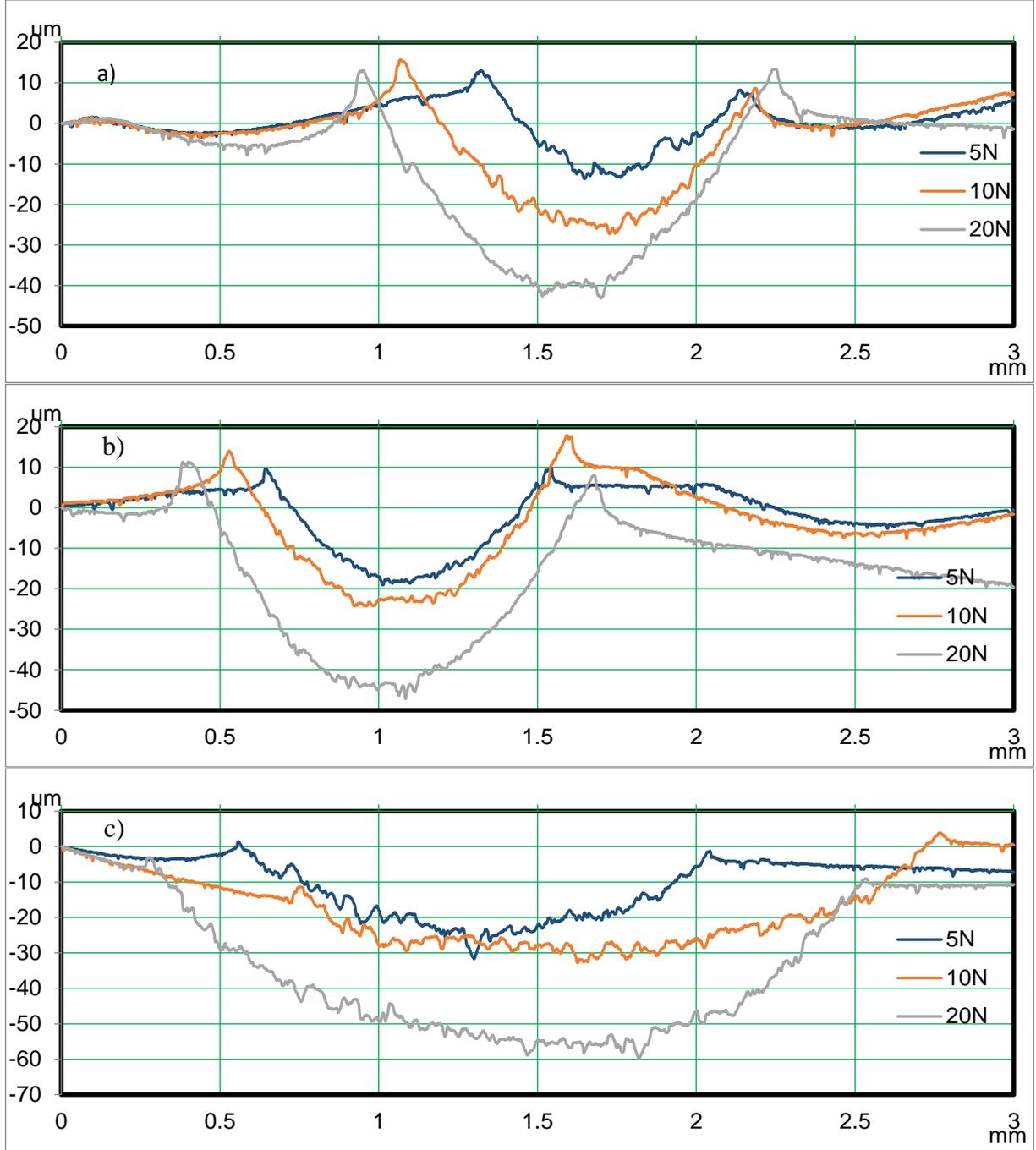
Numunelere ait aşınma profilleri Accretech Handysurf+ profilometre aracılığıyla 3 mm örnekleme uzunluğunda alınmış olup yük ve malzeme odaklı olarak Görsel 4 ve 5'te verilmiştir. Görseller incelendiğinde WC ve 100Cr6 bilye malzemesiyle yapılan çalışmalarda benzer derinlik ve genişlikte aşınma profilleri görülürken Al_2O_3 malzeme ile yapılan deneylerde daha derin ve geniş aşınma profilleri görülmektedir. Bu durum bir önceki alt bölümde değinilen Al_2O_3 'ün sertliği ve malzeme özelliği sebebiyle kesme mekanizmasının da sürece dahil olduğu tezini güçlendirmektedir. Ayrıca artan kuvvetle birlikte profil genişlik ve derinliklerinde artış olduğu ve bu artışın Al_2O_3 malzemedeki keskin bir şekilde kendisini gösterdiği görülmektedir.



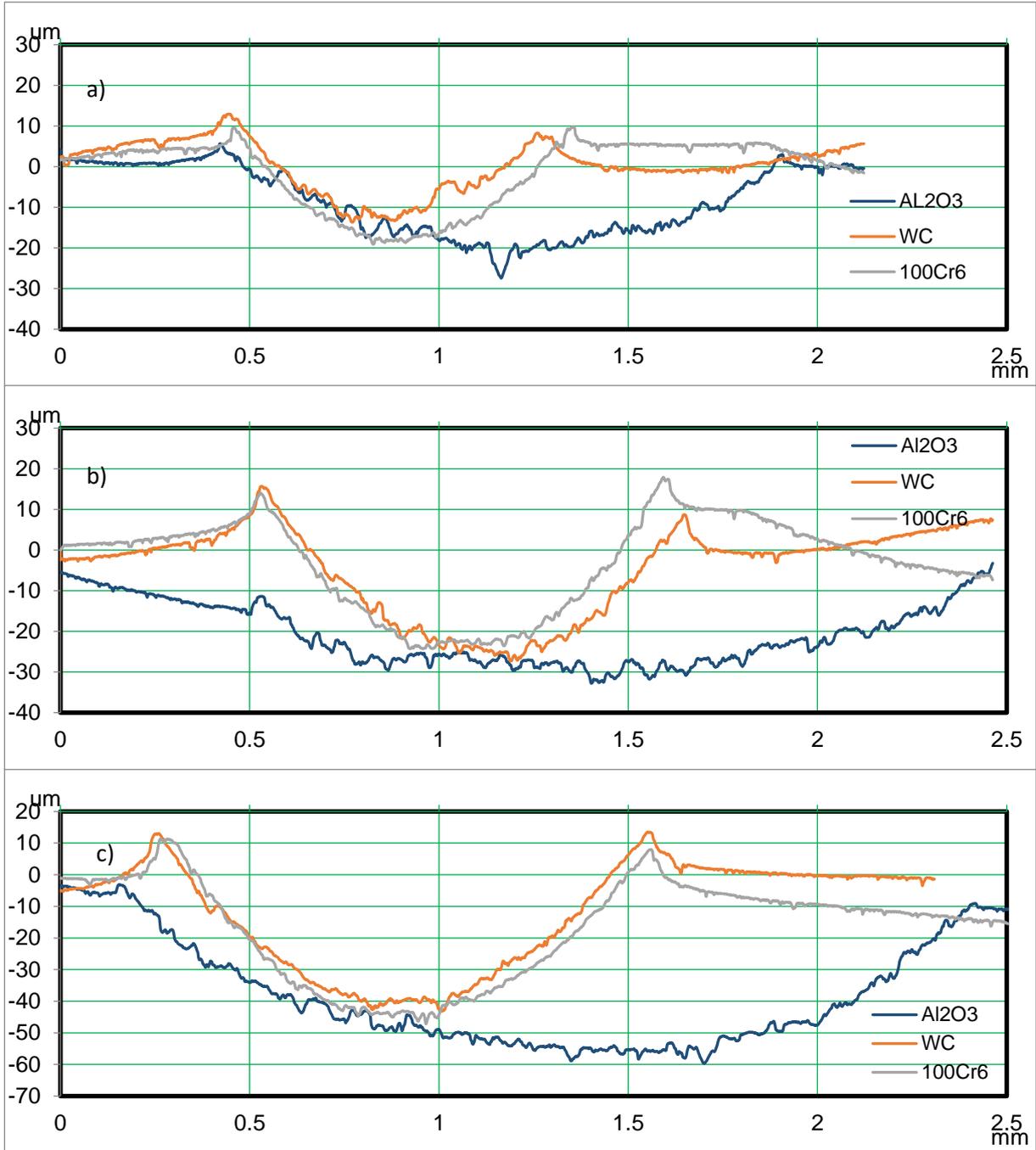
Görsel 2. Sürtünme katsayısı grafikleri (a: WC, b: 100Cr6, c: Al₂O₃)



Görsel 3. Sürtünme katsayısı grafikleri (a: 5N, b: 10N, c: 20N)



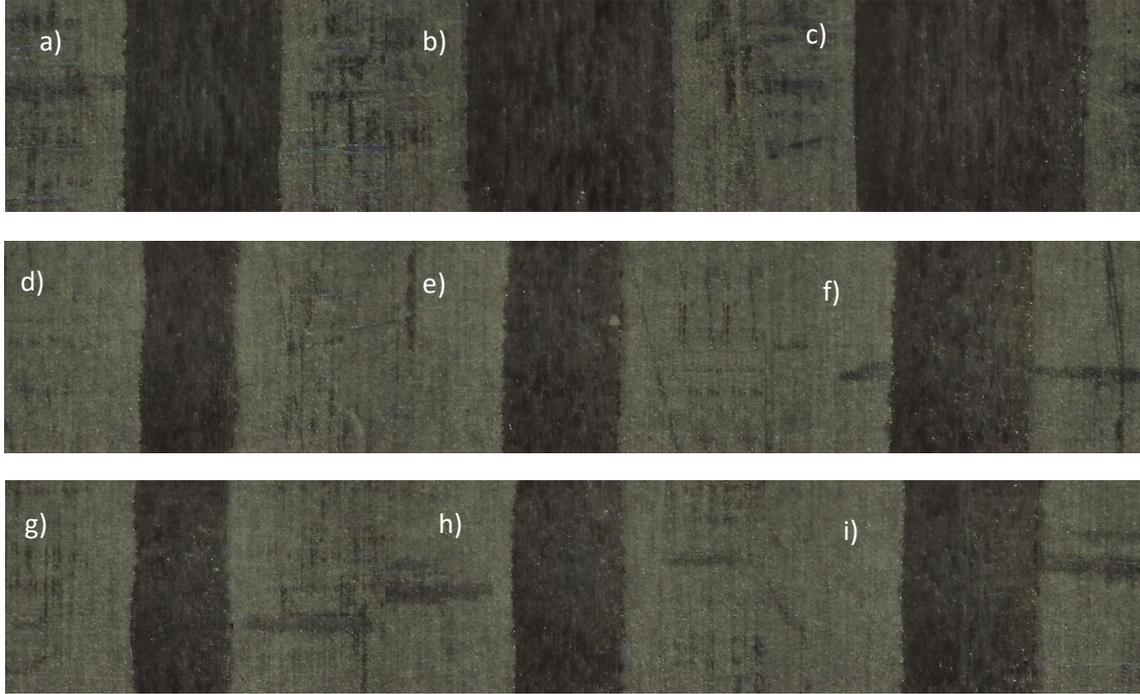
Görsel 4.Aşınma profili grafikleri (a: WC, b: 100Cr6, c: Al_2O_3)



Görsel 5. Aşınma profili grafikleri (a: 5N, b: 10N, c: 20N)

3.3. Aşınma İzleri

Numunelere ait aşınma izleri dijital mikroskop altında görüntülenmiş olup alınan görüntüler Görsel 6'da verilmiştir. Görsel incelendiğinde bir önceki alt bölümde sözü edilen aşınma profilleri ile aynı doğrultuda sonuçlar elde edilmiştir. Al₂O₃ bilye malzemesinin kullanıldığı deneylerde daha geniş aşınma izleri tespit edilirken WC ve 100Cr6 kullanılan deneylerde benzer genişlikte izler tespit edilmiştir. Ayrıca tüm malzemelerde artan kuvvetle birlikte aşınma genişliklerinin arttığı da görülmektedir.



Görsel 5. Aşınma izleri (a: Al₂O₃-5N, b: Al₂O₃-10N, c: Al₂O₃-20N, d: WC-5N, e:WC-10N, f:WC-20N, g: 100Cr6-5N, h: 100Cr6-10N, i:100Cr6-20N)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliğin kuru kayma koşullarındaki tribolojik davranışı, farklı sertlik ve yapısal özelliklere sahip üç karşıt yüzey malzemesi (Al₂O₃, WC ve 100Cr6) ile farklı normal yükler altında incelenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek ortalama değer Al₂O₃ bilyeler ile (0,70) elde edilmiştir. WC (0,66) ve 100Cr6 (0,62) bilyelerle yapılan deneyler daha düşük sürtünme katsayıları göstermiştir. Bu durum, karşı malzemenin sertliğinin ve seramik/metal yapısının sürtünme mekanizmasını belirleyici olduğunu göstermektedir.

Uygulanan yük artışı, tüm karşı malzemelerde sürtünme katsayısı ve aşınma hasarında artışa neden olmuştur. Özellikle 5 N'dan 10 N'a geçişte sürtünme katsayısı değerlerinde yaklaşık %20 artış gözlenmiştir. Bu durum, artan yük ile birlikte gerçek temas alanının büyümesine ve yüzeyde daha yoğun plastik deformasyon oluşmasına bağlanabilir.

Aşınma profilleri incelendiğinde, Al₂O₃ bilyelerle yapılan testlerde daha derin ve geniş profiller meydana gelmiştir. WC ve 100Cr6 bilyelerle elde edilen profiller birbirine yakın değerler göstermiştir. Bu bulgu, Al₂O₃ malzemesinin yüksek sertliği nedeniyle kesme mekanizmasının aşınma sürecine dâhil olduğunu ortaya koymaktadır.

Mikroskop görüntülerine göre aşınma izleri, Al_2O_3 ile yapılan deneylerde en geniş, WC ve 100Cr6 ile yapılan deneylerde ise daha dar ve benzer boyutlarda gerçekleşmiştir. Bu durum, seramik-metal temasında abrazyif aşınma mekanizmasının baskın olduğunu, metal-metal temasında ise daha çok adeziv aşınmanın etkin olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 100Cr6 bilyeler ile yapılan deneyler en düşük sürtünme katsayısı ve en sınırlı aşınma izleriyle AISI 304 için daha uygun tribolojik performans sergilemiştir. WC ve özellikle Al_2O_3 bilyeler, artan aşınma hasarı nedeniyle daha dezavantajlı bir etki göstermiştir.

Sonuç olarak, AISI 304 paslanmaz çeliğin tribolojik performansı hem karşıt yüzey malzemesinin türüne hem de uygulanan yüke bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bu çalışma, mühendislik uygulamalarında AISI 304'ün kullanımında doğru karşı malzeme seçiminin kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır. İlerleyen çalışmalarda farklı sıcaklık, kayma hızı ve yağlama koşullarının da incelenmesiyle daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilecektir.

Teşekkür: Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. (Proje Kodu: FBA-2025-14405)

KAYNAKÇA

- [1] Hu CY, Wan XL, Wu KM, et al. On the impacts of grain refinement and strain-induced deformation on three-body abrasive wear responses of 18Cr–8Ni austenitic stainless steel. *Wear* 2020; 446–447: 203181.
- [2] Kang AS. Wear performance of hydroxyapatite coatings deposited on AISI 304L using detonation gun spray. *Mater Today Proc* 2020; 32: 304–310.
- [3] Karabeyoğlu SS, Ekşi O, Ergene B, et al. WEAR PERFORMANCE OF AISI 304L STAINLESS STEEL UNDER VARIOUS AMBIENT TEMPERATURES. *Lat Am Appl Res - An Int J* 2022; 52: 289–296.
- [4] OUKNIN M, COSTA J, Majidi L. Tribocorrosion and electrochemical behavior of AISI 304L stainless steel in acid medium and Thymus willdenowii Boiss & Reut essential oil effect. *Chem Data Collect* 2020; 28: 100389.
- [5] Sun Y, Bell T. Dry sliding wear resistance of low temperature plasma carburised austenitic stainless steel. *Wear* 2002; 253: 689–693.
- [6] Bell T. Surface engineering of austenitic stainless steel. *Surf Eng* 2002; 18: 415–422.
- [7] Mendes AF, Scheuer CJ, Joanidis IL, et al. Low-temperature plasma nitriding of

- sintered PIM 316L austenitic stainless steel. *Mater Res* 2014; 17: 100–109.
- [8] Barcelos MA, Barcelos MV, Filho J de SA, et al. Wear resistance of AISI 304 stainless steel submitted to low temperature plasma carburizing. *REM - Int Eng J* 2017; 70: 293–298.
- [9] Mamatha Gandhi M, Bain A, Prasanna GL, et al. Examination on dry sliding wear behavior of AISI 304 stainless steel treated with salt bath nitriding process. *Mater Today Proc* 2021; 44: 1412–1417.
- [10] Qin W, Li J, Mao Q, et al. Evolution of tribological mechanisms of nano-grained 304L stainless steel under dry and polyalphaolefin lubrication conditions. *Mater Lett* 2019; 242: 147–151.
- [11] Lorenzo-Martin C, Ajayi OO. Effect of SiC particle impact nano-texturing on tribological performance of 304L stainless steel. *Appl Surf Sci* 2014; 315: 287–291.
- [12] Saada F Ben, Antar Z, Elleuch K, et al. The effect of nanocrystallized surface on the tribocorrosion behavior of 304L stainless steel. *Wear* 2018; 394–395: 71–79.
- [13] Gupta MK, Demirsöz R, Korkmaz ME, et al. Wear and Friction Mechanism of Stainless Steel 420 Under Various Lubrication Conditions: A Tribological Assessment With Ball on Flat Test. *J Tribol*; 145. Epub ahead of print 1 April 2023. DOI: 10.1115/1.4056423.

DEPREM SONRASI KALICI KONUTLARIN YER SEÇİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: DİYARBAKIR ÖRNEĞİ

Doç.Dr. AHMET KOÇ

Dicle Üniversitesi, ahmetkoc0625@hotmail.com, 0000-0001-6932-6680

Doç.Dr. CANAN KOÇ

Dicle Üniversitesi, canan.koca@dicle.edu.tr, 0000-0003-0992-2290

ÖZET

Dünyada doğal ve insan eliyle gerçekleşen afetler nedeniyle çok sayıda maddi ve manevi kayıplar yaşanmaktadır. Afetler can ve mal kayıplarının yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan zararlara yol açmaktadır. Türkiye’de birçok kent fay hatları nedeniyle deprem riski altında olup, son yaşanan 6-7 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri 11 ili etkilemiş, 48.000’den fazla kişinin hayatını kaybetmesiyle sonuçlanmıştır. Depremden etkilenen illerden biri olan Diyarbakır ikinci derece deprem riski taşımasına karşın, ilde 21 bina yıkılmış ve 414 can kaybı yaşanmıştır.

Deprem sonrası ortaya çıkan temel gereksinimlerden biri olan barınma, genellikle üç aşamada çözümlenmektedir. Önce acil barınma şeklinde çadır kentlerin kurulması, ardından geçici olarak konteynır kentte yaşama devam edilmesi ve son aşamada kalıcı konutların inşası şeklinde barınma sorunu çözüme ulaştırılmaktadır. Konteynır kentte yaşama adapte olunurken, kalıcı konutların inşasına başlanmakta, ancak bu süreç afetin büyüklüğüne ve hasar gören yapı sayısına bağlı olarak uzayabilmektedir.

Yapılan araştırmalarda kalıcı konutların yer seçimine yönelik olarak şehirden uzakta konumlanmasının ortaya çıkardığı sonuçlara odaklanmaktadır. Diyarbakır’da inşa edilen kalıcı konutlar kentin batı yönündeki gelişme aksında bulunan Urfa Yolunun güneyinde Oğlaklı mevkiinde yer seçilmiştir. Kentin dışında yer seçen kalıcı konutlar tarihi Suriçi bölgesine 20 km, Kayapınar ticari akslarına 15 km, Yenişehir ticari merkeze ise 18 km mesafede konumlanmaktadır.

Merkezi noktalara ve sosyal donatı alanlarına ulaşılabilirlik açısından sorunlu görülen bölgede yerleşime uygunluk durumunun ortaya konması amacıyla çalışmada coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analizler yapılmıştır. Yerleşime uygunluk durumu “hiç uygun değil, uygun değil, uygun ve çok uygun” şeklinde sınıflandırılmıştır. Yükseklik, eğim, bakı, jeolojik özellikler, erozyon durumu ve arazi kullanım kriterlerinin dikkate alındığı yerleşime uygunluk analizi sonuçlarına göre kalıcı konutların bulunduğu bölge “uygun” ve “uygun olmayan” alanlardan oluşmaktadır. Kentin dışında konumlanan alanın tamamının yerleşime uygun olmaması nedeniyle özellikle yapı kalitesinin dikkate alınması önemli görülmektedir.

Anahtar Kelimeler : CBS, afet, kentsel gelişme, barınma, riskli alan.

1. GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye’de de her yıl çok sayıda afet yaşanmakta olup, hızlı kentleşmeyle birlikte kentlerdeki can ve mal kayıpları kırsal anlara kıyasla daha fazla olmaktadır. Doğal, beşeri ve teknolojik nedenlere bağlı olarak ortaya çıkan afetler; “meydana gelen yıkımdan fiziksel, sosyal, psikolojik ve kültürel olarak etkilenen, topluluğun normal yaşam fonksiyonlarını bozan ve yerel kaynakları yetersiz kılan olaylar” şeklinde tanımlanmaktadır [1]. Türkiye, bulunduğu coğrafi konum ve iklim kuşağı nedeniyle deprem, yangın, sel ve kuvvetli hava olayları gibi doğal afet riskinin yüksek olduğu bir ülkedir [2].

Ülkemizin dünyanın en genç orojenik kuşağı olan Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı üzerinde ve aktif sismotektonik bölgelerinden birinde bulunması [3] nedeniyle sıklıkla deprem afetiyle karşılaşmakta, coğrafyanın genişliği ve etkilenen nüfusun büyüklüğüyle [2] orantılı olarak önemli sayıda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Afet sonucu meydana gelen kayıplar, kamu harcaması yönünden de büyük maliyetleri beraberinde getirmektedir [1].

Kentlerin depreme hazırlıklı olmaması, yapılaşmada afet riskinin gerektiği kadar dikkate alınmaması, nüfusun büyük çoğunluğunu afete karşı savunmasız bırakmaktadır [3]. Ayrıca, depremin büyüklüğü ve yerleşme alanlarına olan uzaklığı, zemin özellikleri, yapı niteliği, risk taşıyan bölgelerdeki hızlı, denetimsiz kentleşme, bilinç ve eğitim eksikliği, ulusal gelir düzeyi (fakirlik ve az gelişmişlik) gibi özellikler deprem sonrası ortaya çıkan olumsuz durumları etkilemektedir [4].

Deprem sonrası zararları en aza indirmenin önemli bir yolu etkin ve bütüncül planlama anlayışı çerçevesinde kentleşmenin yönlendirilmesidir. Yerleşime uygun alanların belirlenerek kent planlaması ve uygulamasının yürütülmesi olası riskleri azaltmada büyük rol oynamaktadır. Literatürde, kentlerin yerleşime uygunluk durumları çeşitli açılardan ele alınmaktadır. Kurnaz ve Ramazanoğlu (2014) [5], Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)’ni kullanarak İstanbul’un Avrupa yakasında yer alan Esenler ilçesinin jeolojik, jeofizik ve jeoteknik verilerini değerlendirerek belirledikleri yerleşime uygunluk durumuna göre, ilçenin kuzey kesimlerinin güney kesimlerine oranla daha güvenilir jeoteknik koşullara sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Yeşil vd., (2015) [6] çalışmasında, Hakkâri ilinin ilçesi olan Çukurca’ya ait jeolojik ve jeoteknik verileri kullanarak Netcad programı aracılığıyla “yerleşime uygunluk” durumlarını belirlemiştir. Özşahin (2016) [7], Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi Altınova Mahallesi CBS tekniklerinden yararlanarak yerleşime uygunluk analizini yapmış; Altınova Mahallesi % 28.18’inin yerleşmeye çok düşük derecede uygun sahalardan oluştuğunu tespit etmiştir. Mahallenin daha çok güney ve batı kısmında bulunan bu alanlar, denize ve akarsu yataklarına yakın kısımlar ile yamaç arazilere denk düşmektedir [7].

Özşahin ve Kaymaz (2015) [8], Hatay ili Antakya ilçesinde CBS yazılımlarından ArcGIS/ArcMap 10.1 paket programını kullanılarak analizler gerçekleştirmiş, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)’den yararlanarak Antakya kentinin yarısından fazlasının yerleşmeye az uygun sahalardan oluştuğunu tespit etmiştir. Akarsu vadileri ve fay hatlarına yakın konumda bulunan sahalarda, yerleşmeye uygun olmayan alanlar olarak belirlenmiştir [8]. Benzer bir çalışmada Ceylan ve Yılmaz (2020) [9], CBS ve AHS kullanarak Sivas ili için yerleşime uygunluk modelleri elde etmiştir.

Belge vd., (2025) [10], çevresel sürdürülebilirliği sağlayarak turizme bağlı kentleşmenin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemlerini kullanarak Aydın ili Kuşadası ilçesinde yerleşime uygun alanlar belirlemiştir. Topografya, arazi kullanım kabiliyeti, yükselti, eğim, bakı, ulaşım ağına yakınlık, fay hatlarına uzaklık ve hidrolojik unsurların dikkate alındığı çalışmada Kuşadası'nda yerleşim için en uygun alanların genellikle düz arazilerde, güçlü ulaşım bağlantılarına sahip ve fay hatlarından uzak bölgelerde olduğu görülmüştür [10]. Eskitoğlu (2025) [11] da Kuşadası'nın yerleşime uygunluğunu Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarını bir arada kullanarak değerlendirmiş; eğim, bakı, yükseklik, arazi kullanımı, jeoteknik özellikler ve sismik risk kriterlerini literatüre dayalı ağırlıklandırmalar ile ağırlıklı çakıştırma yöntemiyle birleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yüksek uygun alanların düşük eğimli ve kıyıya yakın bölgelerde yoğunlaştığını belirlemiştir. Yerleşime uygunluk durumunu ele alan çalışmalarda genellikle CBS ve AHP birlikte kullanılmakta olup, incelenen bölgeler çeşitli kriterler kapsamında değerlendirilmektedir. Deprem sonrası ortaya çıkan konut sorunun çözümünde yerleşime uygun alanların kullanımı kentsel yaşam kalitesi açısından önemlidir. Deprem sonrası oluşan en önemli sorunlardan biri olan barınma çoğunlukla, önce çadır kentler, geçici barınma birimi olan konteynir kent ve sonrasında kalıcı konutlar şeklinde çözülmektedir. Bu barınma birimlerinin doğru yer seçimi depremedelerin güvenli, kaliteli ve dayanıklı ortamlarda yaşamalarına olanak tanırken, psikolojik olarak rahatlama ve konfor durumlarında etkili olmaktadır. 2023 yılında yaşanan ve 11 kenti derinden etkileyen Kahramanmaraş depremi sonrasında 47.932 kişi hayatını kaybetmiş [12], çok sayıda yapı yıkılmış ya da çeşitli hasarlar almıştır. Etkilenen kentlerden biri olan Diyarbakır'da da deprem anında 21 adet yapı yıkılmış ve yapılan tespitlere göre ildeki 195.805 binanın 3.938'i ağır hasarlı, 3.171'i orta hasarlı, 39.117'si ise az hasarlı olarak belirlenmiştir [13, 14]. Sonraki süreçte evini kaybeden depremedeler için kalıcı konut üretimi yapılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın amacı Diyarbakır'da Oğlaklı bölgesinde yer seçen kalıcı konutların mevcut konumunun yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesidir.

2. MATERYAL

Çalışma alanı olan Diyarbakır, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup doğuda Batman, güneyde Mardin, güney batıda Şanlıurfa, batıda Adıyaman, kuzeyde Elazığ ve Bingöl, kuzeybatıda ise Malatya ile komşudur (Görsel 1). Çalışma alanı olarak belirlenen kalıcı konutlar Diyarbakır ili Bağlar ilçesinde yer almakta olup, Suriçi'ne yaklaşık 20 km, Yenişehir ilçe merkezine 19 km mesafede bulunmaktadır. Kentin batıya doğru olan gelişme alanı içinde yer alan konut alanı, Diyarbakır-Urfa Karayolunun güneyinde, kırsal yerleşim yerlerinin arasında konumlanmaktadır.



Görsel 1. Kalıcı konutların konumu ve görselleri [15, 16]

Köklü tarihi geçmişi olan Diyarbakır'ın verimli hilal içinde yer alması, Dicle Nehri'nin varlığı, jeolojik ve topoğrafik özellikleri kentin yer seçimini etkilemiştir. 1930'lu yıllardan sonra sur dışına taşmaya başlayan kent, Yenişehir bölgesine doğru büyümeye başlamış [17,14], 1965 sonrasında Bağlar ve 1990 sonrasında ise Kayapınar ilçeleri gelişme göstermiştir [18,14]. Büyümeye devam eden Diyarbakır kentinin nüfusu günümüzde 1.833.684 kişiye ulaşmıştır [19].

3.YÖNTEM

Çalışma kapsamında literatür taraması yapılarak önce alanının yerleşime uygunluk analizi kriterleri (ağırlık puanları) belirlenmiş (Çizelge 1), sonrasında CBS aracılığıyla oluşturulan yerleşime uygunluk durumu “hiç uygun değil”, “uygun değil”, “uygun”, “çok uygun” şeklinde sınıflandırılmıştır.

Çizelge 1. Çalışma Alanının yerleşime uygunluk analizi kriterleri (ağırlık puanları)

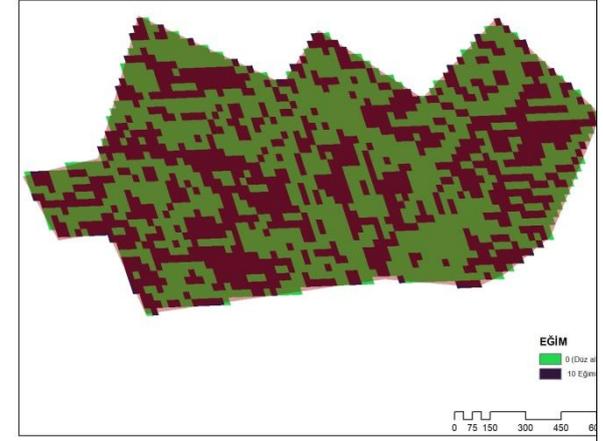
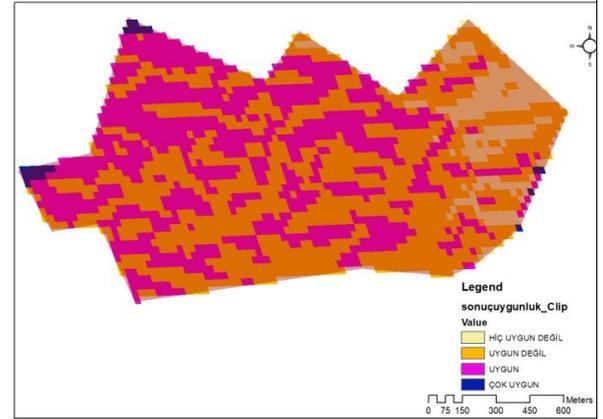
YÜKSEKLİK		EĞİM (%)		BAKI		EROZYON DURUMU		ARAZİ KULLANIM		JEOLOJİK ÖZELLİKLER	
625 m altı	1	0-5	3	Güney-Güneybatı-Güneydoğu	4	Erozyon yok	4	Sürekli sulanan alanlar	1	Bazalt	4
625 m ve üstü	4	5-10	4					Meralar	2		

Ek olarak, analizlerin yapımında ve haritaların hazırlanmasında çeşitli veri tabanlarından yararlanılmıştır.

4. BULGULAR

Yaşanan deprem sonrası Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından uygulanan kalıcı konutlar 14 etaptan oluşan 10.286 adet konutu kapsamaktadır [20]. Konut alanında spor, park ve otopark alanları ile yollar düzenlenmiş, yapılarda farklı cephe düzenlemeleri yapılmıştır [14], (Görsel 1). Hak sahiplerinin büyük kısmı evlerinde yaşamaya başlamıştır. Çalışma alanı, kent çeperinde ve kırsal nitelikli bölgede yer almaktadır. Çizelge 2’de belirtilen alana ilişkin yapılan analiz sonuçlarına göre alanın çoğunu “uygun” ve “uygun olmayan alanlar” oluşturmaktadır.

Çizelge 2. Çalışma alanına ilişkin analizler ve yerleşime uygunluk durumu

	AÇIKLAMA	GÖRSEL
YÜKSEKLİK	Çalışma alanında yükseklik 814-862 m arasında değişmekte olup, doğudan batıya doğru artmaktadır.	 <p>[21]</p>
EĞİM ve BAKI	Alanın eğimi % 0 -10 arasında dağılım göstermektedir. Alanın tamamı güney doğu bakılıdır.	 <p>EĞİM 0 Eğim 10 Eğim</p> <p>0 75 150 300 450 600</p>
ARAZİ KULLANIM, JEOLOJİK YAPI VE TOPRAK SINIFLARI	Çalışma alanı 2. derece deprem kuşağında yer almakta olup, alan civarında diri fay hattı bulunmamaktadır. Alanın jeolojik yapısını bazalt oluşturmaktadır. Alanın büyük çoğunluğunu mera alanları kaplamakta, güney ve güneydoğusunda sürekli sulanan alanlar görülmektedir.	 <p>Mera Alanı Sürekli Sulanan Alanlar</p> <p>[22]</p>
YERLEŞİME UYGUNLUK DURUMU	CBS'den yararlanılarak elde edilen yerleşime uygunluk analizine göre çalışma alanının çoğunu "uygun" ve "uygun olmayan alanlar" oluşturmaktadır. Doğusunda ise "hiç uygun olmayan" alanlar görülmektedir.	 <p>Legend sonuçuygunluk_Clip Value Hiç UYGUN DEĞİL UYGUN DEĞİL UYGUN ÇOK UYGUN</p> <p>0 75 150 300 450 600 Meters</p>

5. SONUÇ

Çalışma alanını oluşturan kalıcı konutların kent merkezinden uzakta konumlanmasına bağlı olarak ulaşım açısından sorun yaşaması olasıdır. Etkin toplu taşıma sisteminin geliştirilerek kentin odak ve merkezi noktalarına erişimi sağlamak amacıyla sefer sıklığı ve araç sayısını dikkate alan ulaşım sistemi düzenlenmelidir.

Alanda yerleşime uygun olmayan ve hiç uygun olmayan alanların varlığı zemin özelliklerini önemseyen yapıları gerekli kılmaktadır. Yapı niteliği ve kalitesi deprem sonrası zararları en aza indirerek bölgenin çekiciliği üzerinde etkili olacaktır.

Sonuç olarak, kapsamlı planlama anlayışı kapsamında yerleşime uygunluk analizlerinin kent bütünü düşünülerek yapılması ve uygulamalarda göz ardı edilmemesi gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] Karçin, M. Ş. Türkiye'nin Afet Yönetiminde Umke'nin Rolü. *Bitlis Eren Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 73-94, 2024.
- [2] Öçal, E. U. Türkiye'de Deprem Afet Yönetimi Ve Belediyeler. *Memleket Siyaset Yönetim*, 19(43), 735-770, 2024.
- [3] Akman, D., & Şahin, Ş. Isparta'da Deprem Afet Bilinci Toplumsal Düzeyinin Belirlenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(2), 1-6, 2023.
- [4] Taş, N. Yerleşim Alanlarında Olası Deprem Zararlarının Azaltılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 225-231, 2003.
- [5] Kurnaz, T., & Ramazanoğlu, Ş. Yerleşime Uygunluğun Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Sorgulanması, Esenler (İstanbul) Örneği. *Sakarya University Journal of Science*, 18(3), 171-182, 2014.
- [6] Yeşil, B., Ateş, A., & Özdemir, A. Çukurca İlçesinin Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 3(1), 180-197, 2015.
- [7] Özşahin, E. Doğal Çevre Bileşenleri Açısından Yerleşime Uygunluk Analizi, Pilot Çalışma; Altınova Mahallesi. *Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(7), 399-416, 2016.
- [8] Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. CBS ve AHS Kullanılarak Doğal Çevre Bileşenleri Açısından Kentsel Mekânın Yerleşime Uygunluk Analizine Bir Örnek: Antakya (Hatay). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 20(33), 111-134, 2015.

- [9] Ceylan, Ş., & Yılmaz, I. Orta Ölçekli Yerleşime Uygunluk Planlarının CBS Tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Hazırlanması: Sivas İl Merkezi Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3), 545-558, 2020.
- [10] Belge, R., Duman, C., & Topuz, S. E. Turizm bölgelerinde yerleşime uygunluk analizi: Kuşadası örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27 (3), 1427-1455, 2025.
- [11] Eskitoğlu, A. K. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Kullanılarak Yerleşime Uygunluk Analizi: Kuşadası İlçesi Örneği. *Journal of Science Technology and Engineering Research*, 6(2): 65-77, 2025.
- [12] <https://maksatbilgi.com/6-subat-2023- kahramanmaras-depremi/>
Erişim Tarihi:17.03.2023.
- [13] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. Deprem Sonucu, 13 Mart 2023 Tarihli Yapı Hasar Verileri, 2023.
- [14] Koç, C. Deprem Sonrası Barınma Olanaklarının Değerlendirilmesi: Diyarbakır Örneği. *Dosya*, (56), 47-57, 2025.
- [15]1200px-Southeastern_Anatolia_Region_in_Turkey.svg.png (1200×515)
Erişim Tarihi:19.09.2025.
- [16] <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>
Erişim Tarihi:19.09.2025.
- [17] Kejanlı D. T., & Koç. Diyarbakır'ın Kentsel Gelişimi Üzerine Bir Değerlendirme, *Gelecek ve Kent*, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şt, (Ed:D. Cakır Aydın, B. Budak Akca, A. Aydın, B. Aras Baylan, B. Eren), Basım sayısı:1, ISBN:978- 625-406-386-2, 2020.
- [18] Dağlı, D., & Çağlıyan, A. Kentsel Gelişim Ve Dönüşüm Sürecinin Belirlenmesi: Diyarbakır Örneği. *International Journal of Geography and Geography Education* (43), 212-234,2021.
- [19] <https://www.nufusune.com/diyarbakir-nufusu>
Erişim Tarihi:19.09.2025.



[20] <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/diyarbakirda-6-bin-deprem-konutunun-yapimitamamlandi/3317555>

Erişim Tarihi: 21.11.2024.

[21] <https://en-gb.topographic-map.com/map-117zs/Diyarbak%C4%B1r/?center=37.86926%2C40.01619&zoom=15>

Erişim Tarihi:19.09.2025.

[22] <https://corinecbs.tarimorman.gov.tr/>

Erişim Tarihi:19.09.2025.

RECENT ADVANCES IN PHAGE-DERIVED ENZYMES: APPLICATIONS AND EMERGING INNOVATIONS

Dr. Asiye Esra EREN EROĞLU

Ege University, asiye.esra.eren@ege.edu.tr - 0000-0003-2096-4635

Prof. Dr. İhsan YAŞA

Ege University, ihsan.yasa@ege.edu.tr - 0000-0002-7684-4678

ABSTRACT

The use of bacteriophages to treat bacterial infections has a history of over a century. In recent years, the emergence of antimicrobial resistance (AMR) has progressively reduced the efficacy of conventional antibiotics, renewing interest in phage therapy. Traditionally, phage therapy relies on the application of pathogen-specific bacteriophages to inhibit bacteria at the site of infection. This study presents a comparative analysis of the current applications of phage therapy across clinical, veterinary, and industrial settings, highlighting both successes and limitations. Advances in phage engineering, formulation, and delivery strategies that enhance therapeutic efficacy and safety are discussed, along with emerging approaches such as synthetic phages, phage-derived enzymes, and combination therapies with conventional antimicrobials. Nonetheless, regulatory constraints and the need for further clinical standardization remain key challenges. In this context, our research specifically focuses on enzymes derived from phage genomes, investigating their antibacterial potential and exploring their applications as novel biocontrol agents and next-generation therapeutics. By integrating historical perspectives with recent research, this study provides a comprehensive framework for understanding the evolution of phage therapy and emphasizes the pivotal role of phage-derived enzymes in shaping future strategies to combat bacterial infections globally.

Key Words: Antimicrobial resistance (AMR), bacteriophages, phage proteins, endolysins

1. INTRODUCTION

The capacity of microorganisms to acquire resistance to the antimicrobial agents they encounter turns minor infections and opportunistic pathogens into a significant public health concern. Bacterial antimicrobial resistance (AMR) has a significant impact on global mortality, morbidity, and economics, particularly in low- and middle-income countries (LMICs), where uncontrolled access to chemotherapeutic drugs is widespread. In 2019, bacterial antimicrobial resistance was associated with the deaths of approximately 4.95 million people worldwide. The "silent pandemic" of AMR is a global problem and, if left unchecked, is likely to cause even greater losses in the coming years than anticipated (Sulis et al., 2021).

According to the World Health Organization (WHO), antibiotics used to treat secondary infections in clinics are increasingly being prescribed. This situation, which was overlooked during the COVID-19 pandemic, is predicted to create even greater problems in the coming years (WHO, 2023). During the COVID-19 pandemic, factors such as prolonged hospital stays, increased shifts and shifts, staff shortages, and the burden of infection control testing on the healthcare system have long hampered the monitoring of hospital-acquired bacterial infections and AMR (Baggs et al., 2022).

In recent years, the significant influence of the environment on the emergence and dissemination of antimicrobial resistance (AMR) has gained global attention. Recognizing the links and interactions within microbial ecosystems has given rise to the "One Health" approach, which unites human, animal, and environmental health. This approach highlights the importance of interdisciplinary collaboration in combating antimicrobial resistance and offers an integrated solution to global health threats (Velazquez-Meza et al., 2022).

Bacteriophages, discovered by Twort and d'Herelle in the early 20th century, are among the most promising biological agents emerging as alternatives to antibiotics in the treatment of bacterial infections. Phages are defined as infectious agents with high host specificity that target prokaryotic cells. Phages are divided into two main groups based on their infection cycle and host interactions: lytic phages and temperate phages. Lytic phages rapidly lyse and kill the host bacteria they infect, while temperate phages can integrate into the host's DNA, causing horizontal gene transfer. Due to these properties, temperate phages have the potential to spread antimicrobial resistance and virulence genes, limiting their therapeutic use. In contrast, lytic phages are considered an environmentally friendly antibiotic alternative for controlling pathogenic bacteria, particularly within the framework of the "One Health" approach (Walter et al., 2023; Kushwaha et al., 2024). It is envisioned that phage therapy

could hold a significant place among next-generation treatment methods, especially as antibiotic resistance has become a global threat.

2. BACTERIOPHAGES AND PHAGE-DERIVED ENZYMES

2.1 Phage Therapy from Past to Present

Felix d'Herelle (1873–1949), noted for his interest in microbiology from an early age, was a groundbreaking researcher in the scientific world despite his lack of formal training. His encounter with infectious diseases during a young trip to South America influenced his interest in microbiology. A self-taught scientist, d'Herelle began his bacteriology studies in a home laboratory he established in Montreal and quickly rose to prominence in the fields of fermentation and biological pest control (d'Herelle, 1917; Summers, 2017). Inspired by the work of Louis Pasteur, d'Herelle joined the Pasteur Institute, where he conducted research primarily on the nature of microbial diseases.

While studying dysentery cases at the Pasteur Institute, d'Herelle noticed clear areas in bacterial cultures, which he described as "taches vierges," and discovered that these areas were caused by an invisible agent that lysed the bacteria. In a 1917 paper, he named this bacterial infecting agent a "bacteriophage" and demonstrated that phages could only attack specific bacteria. This finding challenged the view that bacteria were the smallest living organisms and ushered in a new era in microbiology. Although it was later revealed that Frederick W. Twort had described a similar phenomenon in 1915, the scientific community considered both researchers pioneers in the discovery of bacteriophage, and this phenomenon was initially referred to as the "Twort–d'Herelle phenomenon" (Duckworth, 1976).

Bacteriophages (phages) are simple viruses that infect only bacteria and play a significant role in the evolution of their hosts. Genome analyses have shown that phages can integrate into bacterial genomes, influencing genetic diversity and virulence. Globally, they are approximately ten times more numerous than bacteria, estimated to number around 10^{32} in total. Phages are present everywhere bacteria are found, especially in aquatic environments, and have co-evolved with bacteria since the beginning of life. However, the phages isolated and identified to date are thought to represent only a small fraction of the true diversity in nature (Schroven et al., 2020).

Phages possess high host specificity and infect only certain bacterial species or subspecies. They generally consist of an icosahedral head (capsid) and a genome containing nucleic acid; this genome can be single- or double-stranded DNA or RNA. Since d'Herelle's pioneering work, phage-host interactions have been studied using "one-stage growth curve" analyses. These analyses reveal kinetic parameters such as phage adsorption, latency, and burst size. These parameters are key factors determining both the phage's biological properties and its adaptation to the bacteria it infects and environmental conditions (Chibani-Chennoufi et al., 2004).

The use of bacteriophages in the treatment of bacterial infections has a history of approximately a century and has gained renewed importance in recent years due to the development of antibiotic resistance (AMR). Traditionally, phage therapy relied on the use of naturally occurring phages to inhibit pathogenic bacteria at the site of infection. Today, thanks to biotechnological advances, new therapeutic strategies based on bioengineered phages and purified phage proteins are being developed. These approaches have the potential to be alternatives or complements to antibiotic treatments (Pires et al., 2020). However, the main challenges associated with phage therapy include appropriate phage selection, the creation of effective formulations, and the limited availability of sufficient clinical research data. However, cases such as the recovery of famous actor Tom Mix from peritonitis through personalized phage therapy have demonstrated the potential of the method. Increasing antibiotic resistance has rekindled interest in phages. For example, Wright et al. (2009) reported that a preparation consisting of six phages was safe in patients with antibiotic-resistant *P. aeruginosa*-induced otitis media, but complete healing was observed in a limited number. Similarly, no serious adverse effects were observed in studies on venous leg ulcers caused by *P. aeruginosa*, *S. aureus*, and *E. coli* (Rhoads et al., 2009). Clinical successes reported in recent years have increased interest in phage therapy. Complete healing was achieved with intravenous and intraperitoneal phage administration in *A. baumannii* infection (Schooley et al., 2017). In a systematic review published between 2001 and 2021, clinical improvement was reported in 78.8% of cases treated with phages in 59 studies covering a total of 2241 patients (Dicks et al., 2024).

2.2. Phage-Derived Enzymes

In addition to their direct lytic activity, phages also encode various enzymes capable of degrading structural components of bacterial cells, such as the cell wall, capsule, and biofilm matrix. Among these, endolysins, holins, and exopolysaccharide-degrading enzymes are attracting attention as promising antibacterial agents. Their ability to target bacterial peptidoglycan without disrupting the host microbiota makes them alternative or complementary agents to classical antibiotics (Ho et al., 2021).

Endolysins are peptidoglycan hydrolases synthesized late in the phage replication cycle. When holins form pores in the inner membrane of bacteria, endolysins are released into the periplasmic space, disrupting the peptidoglycan layer and causing cell lysis. Recombinant or purified endolysins can directly lyse Gram-positive bacteria externally because the thick peptidoglycan layer is accessible to the enzyme. In treating *Staphylococcus aureus* strains with intermediate resistance to vancomycin (VISA), the combined application of the anti-staphylococcal endolysin MV-L, originating from the ØMR11 phage, and glycopeptide antibiotics (vancomycin, teicoplanin) demonstrated a pronounced synergistic effect. While MV-L and vancomycin alone provided weak inhibition, their co-administration resulted in complete lysis of Mu50 strains (Rashel et al., 2007).

Strategies such as increasing outer membrane permeability, antimicrobial peptide fusions, and artilisin designs have been developed to increase their efficacy against Gram-negative bacteria (Sui et al., 2023). Thummeepak and colleagues tested the endolysin-antibiotic combination in the treatment of multidrug-resistant strains of *Acinetobacter baumannii* to ensure that this barrier does not limit the lytic activity of endolysins. In their study, the combination of endolysin LysABP-01 and colistin demonstrated significantly increased antibacterial activity compared to treatments administered alone. Colistin (Polymyxin E) is a positively charged antimicrobial that disrupts outer membrane integrity by interacting with negatively charged phosphate groups. This membrane destabilization facilitated access of LysABP-01 to the cell wall and increased treatment success. A 32-fold decrease in minimum inhibitory concentration (MIC) values was reported for LysABP-01 and an 8-fold decrease for colistin (Thummeepak et al., 2016).

Letrado and colleagues demonstrated a synergistic effect using Cpl-711 endolysin in combination with amoxicillin, levofloxacin, vancomycin, and cefotaxime in the treatment of multidrug-resistant *Streptococcus pneumoniae* strains. The combination with amoxicillin and cefotaxime, in particular, provided potent antibacterial activity. This effect was suggested to be due to the antibiotics partially disrupting the peptidoglycan structure, facilitating endolysin access to the target (Letrado et al., 2018).

In addition to endolysins, depolymerases targeting bacterial capsules and biofilms are also important components of the phage enzyme repertoire. They facilitate phage adsorption by degrading extracellular polymeric substances, enhance antibiotic penetration, and support bacterial elimination by the immune system. Their antibiofilm and antivirulence properties make them attractive biological agents for biomedical applications, particularly where biofilm-related infections are common (Topka-Bielecka et al., 2021).

3. RESULTS AND EVALUATION

Due to the increasing incidence of multidrug-resistant bacterial infections worldwide, endolysins have received significant attention as a novel therapeutic approach. Endolysins are an attractive option because they demonstrate lytic potential against numerous bacterial strains of concern in veterinary and human medicine and offer advantages in agriculture and biotechnology. Additionally, endolysins are showing promising advances against biofilm formation. Interestingly, recent research on resistance, safety, immunogenicity, and synergy with antibiotics has further propelled endolysin research. Endolysins represent the best alternative therapeutic approach for treating and treating multidrug-resistant bacteria. To date, many endolysins have been reported to show good results in the treatment of antibiotic-resistant bacteria. However, endolysins also present some challenges. Endolysins are highly effective against Gram-positive bacteria but show limited activity against Gram-negative bacteria because of the protective outer membrane. Another challenge is their short in vivo half-life, caused by the induction of inflammatory cytokines and neutralizing antibodies. When administered systemically, endolysins trigger an immune response, which reduces their enzymatic lytic function in vivo. Therefore, new approaches are required to design universal chimeric lysins capable of penetrating the Gram-negative outer membrane and evading immune-mediated inactivation. While endolysins are proving advantageous as new therapeutic methods, further research is needed to evaluate their formulation and engineering capabilities for clinical trials.

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

The biotechnological use of phage enzymes is rapidly expanding. Engineered lysozymes and depolymerases have demonstrated high efficacy in both infection models and food safety applications. Furthermore, the modular structure of these enzymes enables protein engineering to optimize catalytic activity, thermal stability, and host range. Consequently, phage-derived enzymes are versatile and powerful biotherapeutic agents with great potential in both medical and environmental biotechnology. Advances in protein engineering, structural biology, and delivery technologies will accelerate the transition of these enzymes from the laboratory to the practical application.

REFERENCES

- Baggs, J., Rose, A. N., McCarthy, N. L., Wolford, H., Srinivasan, A., Jernigan, J. A., Reddy, S. C. Antibiotic-Resistant Infections Among Inpatients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in US Hospitals, *Clinical Infectious Diseases*, 75, Supplement_2, 2022, S294–S297.
- Chibani-Chennoufi, S., Bruttin, A., Dillmann, M.-L., Brüßow, H. Phage-Host Interaction: An Ecological Perspective, *Journal of Bacteriology*, 186, 12, 2004, 3677–3686.
- Dicks, L. M., Vermeulen, W. Bacteriophage–Host Interactions and the Therapeutic Potential of Bacteriophages, *Viruses*, 16, 3, 2024, 478.
- Duckworth, D. H. Who Discovered Bacteriophage?, *Bacteriological Reviews*, 40, 4, 1976, 793–802.
- Felix d’Herelle. “Sur un microbe invisible antagoniste des bacilles dysenteriques,” *Comptes rendus Acad. Sci. Paris* 165 (1917): 373, cited and translated in Summers, 185
- Ho, M. K. Y., Zhang, P., Chen, X., Xia, J., Leung, S. S. Y. Bacteriophage Endolysins Against Gram-Positive Bacteria, an Overview on the Clinical Development and Recent Advances on the Delivery and Formulation Strategies, *Critical Reviews in Microbiology*, 48, 3, 2021, 303–326.
- Kushwaha, S. O., Sahu, S. K., Yadav, V. K., Rathod, M. C., Patel, D., Sahoo, D. K., Patel, A. Bacteriophages as a Potential Substitute for Antibiotics: A Comprehensive Review, *Cell Biochemistry and Function*, 42, 3, 2024, 4022.
- Letrado, P., Corsini, B., Díez-Martínez, R., Bustamante, N., Yuste, J. E., García, P. Bactericidal Synergism Between Antibiotics and Phage Endolysin Cpl-711 to Kill Multidrug-Resistant Pneumococcus, *Future Microbiology*, 13, 11, 2018, 1215–1223.

- Pires, D. P., Costa, A. R., Pinto, G., Meneses, L., Azeredo, J. Current Challenges and Future Opportunities of Phage Therapy, *FEMS Microbiology Reviews*, 44, 6, 2020, 684–700.
- Rashel, M., Uchiyama, J., Ujihara, T., Uehara, Y., Kuramoto, S., Sugihara, S., Yagyu, K., Muraoka, A., Sugai, M., Hiramatsu, K., ... Efficient Elimination of Multidrug-Resistant *Staphylococcus aureus* by Cloned Lysin Derived from Bacteriophage ϕ MR11, *Journal of Infectious Diseases*, 196, 7, 2007, 1237–1247.
- Rhoads, D. D., Wolcott, R. D., Kuskowski, M. A., Wolcott, B. M., Ward, L. S., Sulakvelidze, A. Bacteriophage Therapy of Venous Leg Ulcers in Humans: Results of a Phase I Safety Trial, *Journal of Wound Care*, 18, 6, 2009, 237–243.
- Schooley, R. T., Biswas, B., Gill, J. J., Hernandez-Morales, A., Lancaster, J., Lessor, L., ... Hamilton, T. Development and Use of Personalized Bacteriophage-Based Therapeutic Cocktails to Treat a Patient with a Disseminated Resistant *Acinetobacter baumannii* Infection, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 61, 10, 2017, 10-1128.
- Schroven, K., Aertsen, A., Lavigne, R. Bacteriophages as Drivers of Bacterial Virulence and Their Potential for Biotechnological Exploitation, *FEMS Microbiology Reviews*, 45, 1, 2020,
- Sui, B., Wang, X., Zhao, T., Zhen, J., Ren, H., Liu, W., Zhang, X., Zhang, C. Design, Screening, and Characterization of Engineered Phage Endolysins with Extracellular Antibacterial Activity Against Gram-Negative Bacteria, *Applied and Environmental Microbiology*, 89, 7, 2023, e00581-23.
- Sulis, G., Sayood, S., Gandra, S. Antimicrobial Resistance in Low- and Middle-Income Countries: Current Status and Future Directions, *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 20, 2, 2021, 147–160.
- Summers, W. C. Félix Hubert d'Herelle (1873–1949): History of a Scientific Mind, *Bacteriophage*, 6, 4, 2017, e1270090.
- Thummeepak, R., Kittit, T., Kunthalert, D., Sitthisak, S. Enhanced Antibacterial Activity of *Acinetobacter baumannii* Bacteriophage ϕ ABP-01 Endolysin (LysABP-01) in Combination with Colistin, *Frontiers in Microbiology*, 7, 2016, 1402.
- Topka-Bielecka, G., Dydecka, A., Necel, A., Bloch, S., Nejman-Faleńczyk, B., Węgrzyn, G., Węgrzyn, A. *Bacteriophage-Derived Depolymerases Against Bacterial Biofilm*, *Antibiotics*, 10, 2, 2021, 175.
- Velazquez-Meza, M. E., Galarde-López, M., Carrillo-Quiróz, B., Alpuche-Aranda, C. M. Antimicrobial Resistance: One Health Approach, *Veterinary World*, 15, 3, 2022, 743–749.



- Walter, N., Mirzaei, M., Deng, L., Willy, C., Alt, V., Rupp, M. The Potential of Bacteriophage Therapy as an Alternative Treatment Approach for Antibiotic-Resistant Infections, *Medical Principles and Practice*, 33, 1, 2023, 1–9.
- Wright, A., Hawkins, C. H., Anggard, E. E., Harper, D. R. A Controlled Clinical Trial of a Therapeutic Bacteriophage Preparation in Chronic Otitis Due to Antibiotic-Resistant *Pseudomonas Aeruginosa*; A Preliminary Report of Efficacy, *Clinical Otolaryngology*, 34, 4, 2009, 349–357.

A MICROBIAL SOLUTION TO THE CLIMATE CRISIS: COMPARATIVE GENOME ANALYSES IN METHYLOBACTERIUM INDICUM MODEL FOR THE UTILIZATION OF NEXT-GENERATION C1 SUBSTRATES

Prof. Dr. İhsan YAŞA

Ege University, ihsan.yasa@ege.edu.tr - 0000-0002-7684-4678

Dr. Asiye Esra EREN EROĞLU

Ege University, asiye.esra.eren@ege.edu.tr - 0000-0003-2096-4635

ABSTRACT

Methylotrophic bacteria play a critical role in greenhouse gas cycling due to their ability to utilize single-carbon (C1) compounds such as methane and methanol, and they hold significant promise for carbon-neutral biotechnological applications. *Methylobacterium indicum* is a methylotrophic species commonly found on plant surfaces and within endophytic environments. In this study, the pan- and core-genome structures of *M. indicum* strains were compared to investigate intraspecific genetic variation and functional potential. Genome annotations were performed using Prokka, and pan-/core-genome analyses were conducted with Panaroo. Functional classifications were carried out using the COG and KEGG databases. Pan-genome analysis of six *M. indicum* strains revealed that 4,079 genes (50.3%) were shared among all strains, representing essential cellular functions. Of the genes, 21.8% were strain-specific, while 27.9% were dispensable. Genes involved in nitrogen fixation, including *nifU*, *fixCH*, and nodulation proteins, were detected in all strains. Interestingly, a region encoding Rubisco (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) was identified in the VL1 strain. A substantial portion of the dispensable genes consisted of hypothetical proteins, offering a promising avenue for the discovery of novel metabolic pathways and adaptive mechanisms. Overall, our findings reveal the genetic diversity of *M. indicum* and the distribution of C1 metabolism-related gene clusters across strains, thereby providing a scientific foundation for single-carbon-based industrial biotechnology and sustainable agricultural systems.

Key Words: *Methylobacterium indicum*, pan-core genome, diazotroph, comparative genomics

1. INTRODUCTION

The biological conversion of one-carbon (C1) compounds (e.g., methane, methanol, formaldehyde, formic acid, carbon monoxide, and carbon dioxide) is of strategic importance in building a sustainable biotechnology and carbon-neutral economy. The direct or indirect application of these compounds enables both a reduction in greenhouse gas emissions and enhanced production of biofuels and biochemicals from renewable feedstocks (Atsbha et al., 2024). Microorganisms that can metabolize C1 compounds—referred to as “C1-utilizing cell factories”—are capable of using single-carbon substrates exclusively as sources of carbon and energy (Guntermann et al., 2021).

Recently, a two-step hybrid approach has been implemented to enhance the industrial-scale feasibility of C1 conversion processes. In this approach, hydrogen obtained by electrolysis of water using renewable energy sources (e.g., solar, wind, tidal) is converted into organic C1 compounds such as methane, methanol, or formate by chemical reduction of carbon dioxide. These organic compounds are then converted into a wide range of valuable products under mild biochemical conditions in genetically engineered C1-utilizing microorganisms (Zhou et al., 2019). This approach offers a promising platform for achieving carbon neutrality by integrating chemical catalysis with biological conversion.

Engineering C1 metabolism revolves around three main research axes: (1) understanding the metabolic networks and regulatory principles of natural C1-utilizing bacteria (e.g., methanotrophs, methylotrophs, acetogens), (2) improving the performance of these natural microorganisms by genetic remodeling, and (3) genetically engineering well-characterized microorganisms (e.g., *Escherichia coli*) that cannot utilize C1 compounds into synthetic C1-utilizing cells (Bar-Even et al., 2010; Volk et al., 2022). This “understand–design–build–test–learn” cycle requires quantitative modeling of metabolic networks at the genome-wide scale. This, in turn, increases the importance of computational biology tools such as metabolic flux analysis (MFA), flux balance analysis (FBA), and isotopic tracking approaches (Kabimoldayev et al., 2018).

Advances in high-resolution RNA sequencing (RNA-Seq) and mass spectrometry (MS)-based proteomics technologies have enabled in-depth investigation of metabolic processes in natural C1-utilizing bacteria through multi-omics data (Hettich et al., 2013). However, these techniques are limited in terms of identifying precursors of targeted products or quantitatively measuring carbon fluxes. Therefore, isotopic equilibrium-based or non-equilibrium metabolic flux analyses have become a critical tool for determining the dynamics of the integration of carbon, energy, and reducing power into

biomass (Cheng et al., 2024). The findings obtained from these analyses provide guidance for the systematic engineering of both natural and synthetic C1-utilizing microorganisms.

Methylotrophic bacteria are prominent in this area because they can metabolize single-carbon compounds, especially methanol and methane, for both carbon and energy. These microbes are essential not only for maintaining the carbon cycle but also for applications in biotechnology and sustainable agriculture (Kremp and Müller, 2020). Species of the *Methylobacterium* genus, in particular, are important bioinoculants that support nitrogen and phosphorus cycling in agricultural ecosystems thanks to their ability to form symbiotic relationships with plants. Indeed, *Methylobacterium nodulans* has been shown to form symbiotic nodules with legumes such as *Crotalaria* and fix nitrogen (Jourand et al., 2004; Arrobas et al., 2024).

Considering the environmental impacts caused by chemical fertilizers in modern agriculture (decreased soil fertility, water pollution, and biodiversity loss), the use of methylotrophs as biofertilizers stands out as a sustainable alternative. Furthermore, methylotrophic bacteria improve air quality by biologically capturing volatile organic compounds (VOCs) on plant surfaces and contribute to the biological cycling of greenhouse gases (Wambacq et al., 2022). In this context, the role of methylotrophic bacteria in the carbon, nitrogen, and phosphorus cycle offers great potential not only for environmental sustainability but also for the redesign of biotechnological production systems.

In this study, we analyzed six *Methylobacterium indicum* genome sequences publicly available in the NCBI GenBank database. This analysis included comparative analyses of the strains' pan- and core-genome structures, intraspecific genetic diversity, and functional potential. This genome-based approach contributes to the quantitative assessment and remodeling of the metabolic networks of C1-utilizing bacteria, and, based on this information, to the pursuit of current biotechnological research aimed at developing novel C1-assimilating cell factories.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Genome Data Retrieval and Annotation

In this study, a total of six publicly available genome sequences of the *Methylobacterium indicum* species were downloaded from the National Center for Biotechnology Information (NCBI) GenBank database

(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>) in FASTA and GenBank formats. Basic information of the genomes (GenBank accession number, genome length, GC content, total gene number, etc.) was recorded and quality control was performed before analysis. Quality assessment was performed using CheckM (v1.2.2) and QUAST (v5.2) software to detect possible contamination and deficiencies (Shi et al., 2020). Genome annotation was performed with Prokka (v1.14) to determine the coding sequences (CDS), transfer RNAs (tRNA), and ribosomal RNAs (rRNA) of each strain. Default parameters were used when running Prokka; Prodigal was integrated for gene prediction, Aragorn for tRNA identification, Barnmap for rRNA gene detection, and UniProt, RefSeq, and Pfam databases for functional annotation. Annotation results were obtained in GFF, GBK, and tab-delimited (TSV) formats and organized for use in subsequent pan-genome, phylogenetic, and functional analyses.

2.2. Pan- and Core-Genome Analysis

The annotated *Methylobacterium indicum* genome files (GFF3 format) were analyzed using Panaroo (v1.2.9) software to identify core, accessory, and strain-specific gene clusters. Panaroo analysis was run with default parameters, and both gene sequence similarity and genomic context (synteny) information were taken into account to correctly group gene clusters. Panaroo performed BLASTp-based comparative analysis to identify orthologous gene clusters and filtered errors due to misannotation or frameshift (Udaondo et al., 2015). In this process, gene clusters were divided into three main categories: Core genes: Gene clusters common to all genomes, Accessory genes: Gene clusters present in more than one but not in all strains, and Strain-specific genes (unique genes): Gene clusters specific to a single strain. The resulting gene presence–absence matrix was used to evaluate intra-species genetic diversity and visualize the pan-genome structure.

3. RESULTS AND EVALUATION

All analyzed *M. indicum* genomes ranged in size from 5.1 to 5.6 Mb, with GC contents between 68 and 70%. Approximately 8,100 genes were found genome-wide, of which 4,079 (50.3%) constituted the core genome, indicating a moderately open genome structure. Approximately 21.8% of the genes were strain-specific, reflecting genomic flexibility and potential for environmental adaptation (Figures 1 and 2).

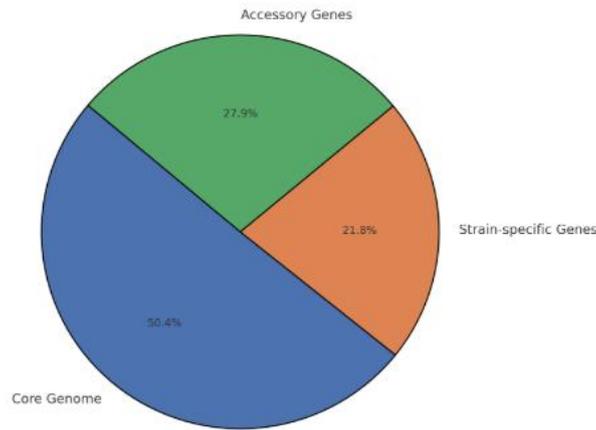


Figure 1. The entire genome of six *M. indicum* strains contains 8,100 genes. The entire genome can be further divided into the unique genome (orange), the dispensable genome (green), and the core genome (blue) based on the number of isolates sharing a given gene.

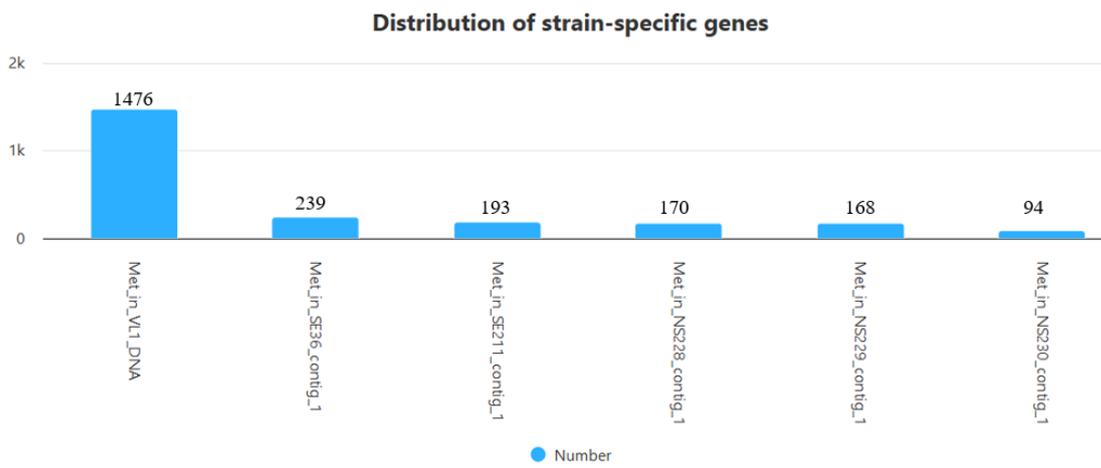


Figure 2. Distribution of strain-specific genes in the whole genome of six *M. indicum* strains

Upset plot analysis reveals high genetic diversity and adaptability among the genomes studied (Figure 3). Horizontal bars represent the total gene count in each genome, while vertical bars represent the number of genes at the intersection of gene clusters. The solid black dots and connecting lines at the bottom indicate which genomes the genes are located in. The largest vertical bar represents approximately 1476 unique genes found in only one genome, while the second largest represents partial accessory genes, with 548 genes shared between the two genomes. Medium and small vertical bars (≈ 300 – 50 genes) represent genes shared across different genome combinations, while very small vertical bars (≈ 10 – 50 genes) represent rare or strain-specific adaptive modules. This distribution suggests that the core genome may be quite

limited and the pan-genome has a moderately open structure; that is, genomes possess a wide repertoire of genes that can adapt to different environmental conditions or metabolic requirements.

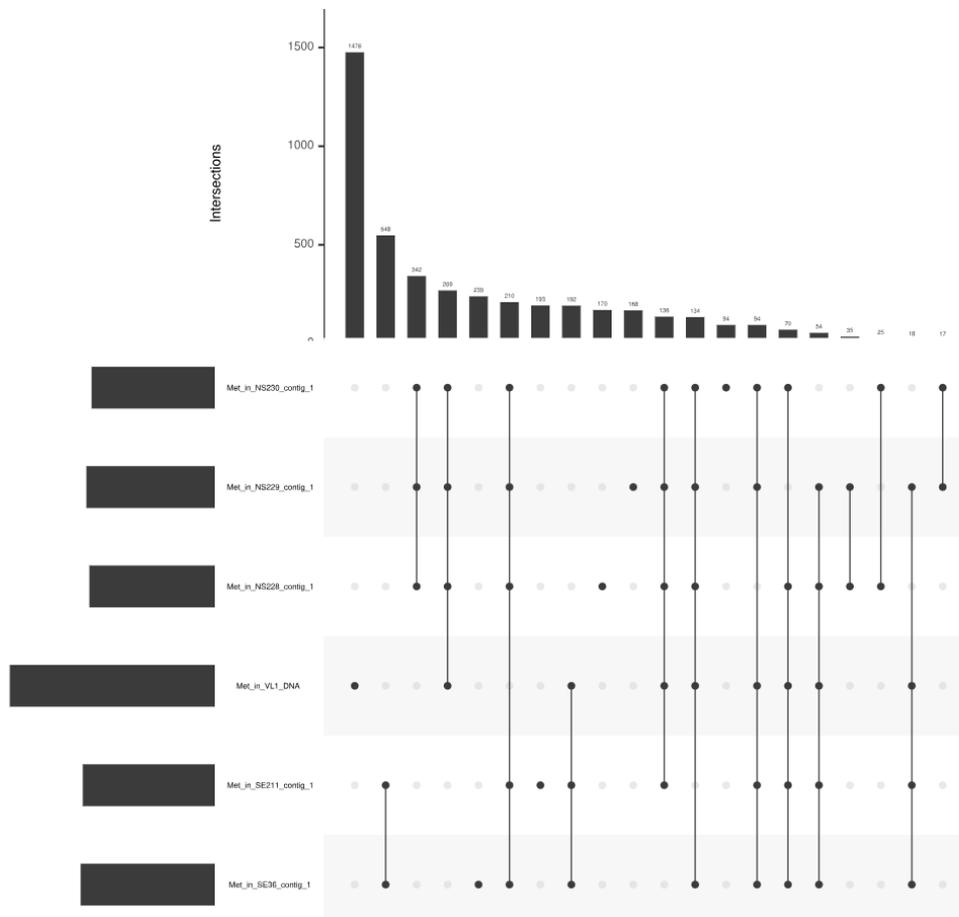


Figure 3. Pangenome analysis represented using an Upset plot

The COG functional category distribution shows a generally similar profile across all genomes examined (Figure 4). Certain functional categories (e.g., General function prediction, Inorganic ion transport and metabolism, Signal transduction mechanisms, Amino acid transport and metabolism) are highly prevalent across all genomes, while others exhibit lower and more variable distribution. This suggests that core metabolic and survival functions are conserved across genomes, while some specific functions vary among strains.

Genes involved in nitrogen fixation, including *nifU*, *fixCH*, and nodulation proteins, were detected in all strains. Interestingly, a region encoding Rubisco (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) was identified in the VL1 strain. A substantial portion of the

dispensable genes consisted of hypothetical proteins, offering a promising avenue for the discovery of novel metabolic pathways and adaptive mechanisms.

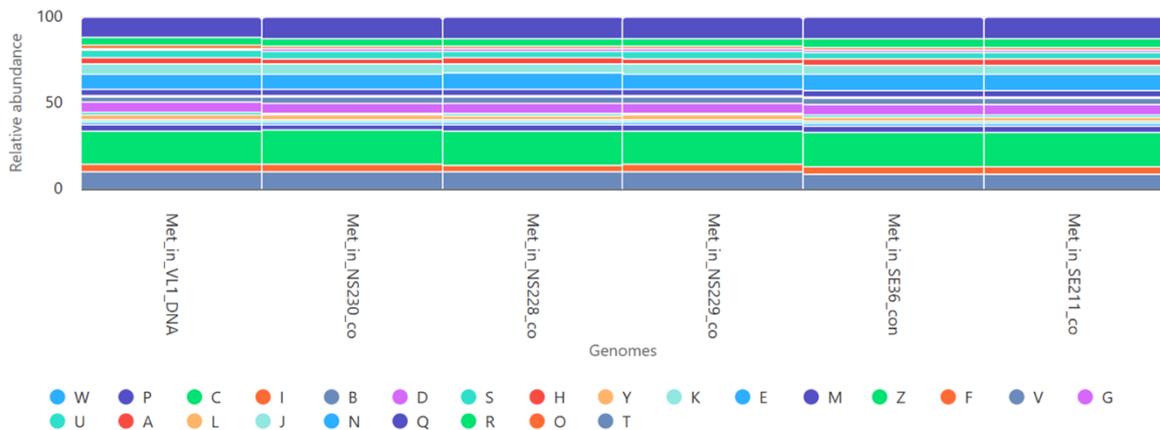


Figure 4. Category distribution of COG functional genes in the genome of 6 six strains

[A] RNA processing and modification [B] Chromatin structure and dynamics [C] Energy production and conversion [D] Cell cycle control, cell division, chromosome partitioning [E] Amino acid transport and metabolism [F] Nucleotide transport and metabolism [G] Carbohydrate transport and metabolism [H] Coenzyme transport and metabolism [I] Lipid transport and metabolism [J] Translation, ribosomal structure and biogenesis [K] Transcription [L] Replication, recombination and repair [M] Cell wall/membrane/envelope biogenesis [N] Cell motility [O] Posttranslational modification, protein turnover, chaperones [P] Inorganic ion transport and metabolism [Q] Secondary metabolites biosynthesis, transport and catabolism [R] General function prediction only [S] Function unknown [T] Signal transduction mechanisms [U] Intracellular trafficking, secretion, and vesicular transport [V] Defense mechanisms [W] Extracellular structures [Y] Nuclear structure [Z] Cytoskeleton

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

Pan-genome analyses have revealed that *M. indicum* has a highly flexible genomic structure. The abundance of strain-specific genes suggests that this species may harbor undiscovered metabolic capabilities. Functional analysis of these genes may contribute to the identification of new biocatalysts in the design of future carbon-neutral biotechnological systems.

REFERENCES

Arrobas, M., Correia, C. M., Rodrigues, M. Â. *Methylobacterium symbioticum* Applied as a Foliar Inoculant Was Little Effective in Enhancing Nitrogen Fixation and Lettuce Dry Matter Yield, *Sustainability*, 16, 11, 2024, 4512.

Atsbha, T. A., Yoon, H.-J., Cherif, A., Lee, C.-J. Feasibility and Sustainability of Emerging CCU Pathways for Formic Acid Production, *Green Chemistry*, 26, 21, 2024, 10982–10995.

- Bar-Even, A., Noor, E., Lewis, N. E., Milo, R. Design and Analysis of Synthetic Carbon Fixation Pathways, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 19, 2010, 8889–8894.
- Cheng, S., Cao, C., Qian, Y., Yao, H., Gong, X., Dai, X., Ouyang, Z., Ma, X. High-throughput Single-cell Mass Spectrometry Enables Metabolic Network Analysis by Resolving Phospholipid C=C Isomers, *Chemical Science*, 15, 17, 2024, 6314–6320.
- Guntermann, N., Mengers, H. G., Franciò, G., Blank, L. M., Leitner, W. Bio-energy Conversion with Carbon Capture and Utilization (BECCU): Integrated Biomass Fermentation and Chemo-catalytic CO₂ Hydrogenation for Bioethanol and Formic Acid Co-production, *Green Chemistry*, 23, 24, 2021, 9860–9864.
- Hettich, R. L., Pan, C., Chourey, K., Giannone, R. J. Metaproteomics: Harnessing the Power of High Performance Mass Spectrometry to Identify the Suite of Proteins That Control Metabolic Activities in Microbial Communities, *Analytical Chemistry*, 85, 9, 2013, 4203–4214.
- Jourand, P., Giraud, E., Béna, G., Sy, A., Willems, A., Gillis, M., Dreyfus, B., de Lajudie, P. *Methylobacterium nodulans* sp. nov., for a Group of Aerobic, Facultatively Methylotrophic, Legume Root-nodule-forming and Nitrogen-fixing Bacteria, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 6, 2004, 2269–2273.
- Kabimoldayev, I., Nguyen, A. D., Yang, L., Park, S., Lee, E. Y., Kim, D. Basics of Genome-scale Metabolic Modeling and Applications on C1-utilization, *FEMS Microbiology Letters*, 365, 20, 2018.
- Kremp, F., Müller, V. Methanol and Methyl Group Conversion in Acetogenic Bacteria: Biochemistry, Physiology and Application, *FEMS Microbiology Reviews*, 45, 2, 2020.
- Shi, W., Sun, Q., Fan, G., Hideaki, S., Moriya, O., Itoh, T., Zhou, Y., Cai, M., Kim, S.-G., Lee, J.-S., Sedlacek, I., Arahall, D. R., Lucena, T., Kawasaki, H., Evtushenko, L., Weir, B. S., Alexander, S., Dénes, D., Tanasupawat, S., Ma, J. gcType: A High-quality Type Strain Genome Database for Microbial Phylogenetic and Functional Research, *Nucleic Acids Research*, 49, D1, 2020, D694–D705.
- Udaondo, Z., Molina, L., Segura, A., Duque, E., Ramos, J. L. Analysis of the Core Genome and Pangenome of *Pseudomonas putida*, *Environmental Microbiology*, 18, 10, 2015, 3268–3283.



- Volk, M. J., Tran, V. G., Tan, S.-I., Mishra, S., Fatma, Z., Boob, A., Li, H., Xue, P., Martin, T. A., Zhao, H. Metabolic Engineering: Methodologies and Applications, *Chemical Reviews*, 123, 9, 2022, 5521–5570.
- Wambacq, E., Alloul, A., Grunert, O., Carrette, J., Vermeir, P., Spanoghe, J., Sakarika, M., Vlaeminck, S. E., Haesaert, G. Aerobes and Phototrophs as Microbial Organic Fertilizers: Exploring Mineralization, Fertilization and Plant Protection Features, *PLOS ONE*, 17, 2, 2022, e026249
- Zhou, W., Cheng, K., Kang, J., Zhou, C., Subramanian, V., Zhang, Q., Wang, Y. New Horizon in C1 Chemistry: Breaking the Selectivity Limitation in Transformation of Syngas and Hydrogenation of CO₂ into Hydrocarbon Chemicals and Fuels, *Chemical Society Reviews*, 48, 12, 2019, 3193–3228.

SICAK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ AÇIK YEŞİL ALANLARDA BİTKİ TÜR SEÇİMİNİN BİYO-İKLİMSEL KONFORA ETKİSİ

Dr. Öğr. Gör. Sülem ŞENYİĞİT DOĞAN

Dicle Üniversitesi, sulemsenvigit@hotmail.com, 0000-0002-8370-4593

Doç. Dr. Ahmet KOÇ

Dicle Üniversitesi, ahmetkoc0625@hotmail.com, 0000-0001-6932-6680

ÖZET

İnsan nüfusunun artması ve bunun beraberinde getirdiği sorunlardan birisi olan yoğun kentleşme insanların biyo iklimsel konforunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak veya minimize etmek için yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları yeşil alt yapı sistemlerini geliştirmek için çalışmaktadır. Yeşil alt yapıların önemli unsurlarından olan bitkililerdir. Kentsel peyzajların ayrılmaz bir parçası olan bitkiler, sıcaklık, nem ve rüzgar düzenleri gibi çevresel koşulları değiştirerek dış mekan termal konforunu önemli ölçüde etkileyen canlı materyallerdir. Bitkilerin termal konfora etkisi bitkinin cinsine, taç yapısına, boyuna ve yaprak yoğunluğuna göre değişkenlik gösterebilir. Bu çalışma kapsamında materyal olarak Diyarbakır kentinde 19.717 dönüm alan üzerine kurulmuş olan Dicle Üniversitesi kampüsü yeşil alt yapısına bağlı bitkisel peyzaj unsuları incelenmiştir. İncelemede her bir bitkinin kapladığı noktasal alandan sıcaklık, nem ve rüzgar verileri elde edilmiştir. Aynı zamanda bitki gökyüzünde kapladığı alanı hesaplamak için balık göz lens entegre edilmiş SLR dijital kamera ile çekimler yapılmıştır. Bu çekimler analiz edilerek sky view factor (SVF) değerleri belirlenmiştir. Her bir bitkiye ait iklimsel ve SVF değerleri Rayman Pro 2.1 programına entegre edilerek Biyo iklimde önemli bir parametre olan PET değerleri belirlenmiştir. Sırasıyla *Robinia pseudoacacia* ağacı için 0,07 SVF, 40°C PET, *Platanus orientalis* ağacı için 0,01 SVF, 42,4°C PET, *Melia azedarach* 0,07 SVF, 46,2°C PET, *Albizia julibrissin* 0,08 SVF, 48,7°C PET, *Pinus sylvestris* 0,01 SVF, 51,3°C PET, *Cupressus sempervirens* L. 0,05 SVF, 51,9°C PET, *Acacia penninervis* 0,08 SVF, 53,4°C PET, *Acer negundo* 0,02 SVF, 50,1°C PET değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada yaprak döken bitkilerin konifer bitkiere göre daha konforlu ortam oluşturduğu vurgulanmıştır.

Anahtar Kelime: SVF, PET, Rayman

ABSTRACT

The expansion of the human population and consequent urban density adversely affect individuals' bioclimatic comfort. Local governments and non-governmental organizations are striving to construct green infrastructure systems to mitigate or eradicate these adverse effects. Vegetation is an essential component of green infrastructure. Plants, essential components of urban environments, are living entities that profoundly influence outdoor thermal comfort by modifying environmental factors such as temperature, humidity, and wind patterns. The influence of vegetation on thermal comfort may differ based on the species, canopy architecture, stature, and foliar density. This study analyzed the botanical landscape components associated with the green infrastructure of the Dicle University campus, situated on a 19,717-acre expanse in Diyarbakır. Temperature, humidity, and wind data were collected from the specific area surrounding each plant. Photographs were captured using an SLR digital camera equipped with a fisheye lens to determine the area occupied by the plant in the sky. The photos were examined to ascertain sky view factor (SVF) values. Climatic and SVF information for each plant were incorporated into the Rayman Pro 2.1 software to ascertain PET values, a crucial metric in bioclimatology. In order: *Robinia pseudoacacia* tree 0.07 SVF, 40°C PET, *Platanus orientalis* tree 0.01 SVF, 42.4°C PET, *Melia azedarach* 0.07 SVF, 46.2°C PET, *Albizia julibrissin* 0.08 SVF, 48.7 °C PET, *Pinus sylvestris* 0.01 SVF, 51.3°C PET, *Cupressus sempervirens* L. 0.05 SVF, 51.9°C PET, *Acacia penninervis* 0.08 SVF, 53.4°C PET, *Acer negundo* 0.02 SVF, 50.1°C PET values have been determined..This study highlighted that deciduous plants create a more conducive atmosphere than coniferous plants.

Keywords: SVF, PET, Rayman

GİRİŞ

Son yüzyılda küresel ısınmanın git gide artması beraberinde geri dönüşü olmayan çevre sorunlarının meydana çıkmasına neden olmuştur. Çevre sorunlarından ve küresel ısınmadan dolayı olarak kaynaklanan bir diğer olumsuz durum ise hava sıcaklığının artmasıdır. İnsanoğlu bu olumsuz durumu hafifletmek ve ortadan kaldırmak için kent içi yeşil alt yapı sistemlerinin artırılmasına yönelik politikalar izlemiştir. Yeşil alt yapının değişmez unsurlarından biri ise bitkilere dir. Bitkiler buldukları ortamı serinletme özelliğine sahip oldukları gibi kentsel ısı adalarının etkilerini hafifletmede de önemli rol üstlenirler. Kentsel Isı Adası (UHI) etkisi nedeniyle, çevredeki kırsal bölgelere kıyasla daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Yapılı ortamlarda artan ısı tutulumuyla karakterize edilen bu olgu, yerel iklim dinamiklerini önemli ölçüde etkilemekte ve halk sağlığı ile ekolojik istikrar açısından zorluklar oluşturmaktadır (Soudoudi ve ark., 2014; Tan ve ark., 2009) . Kentsel bitki örtüsü ve tasarımdan yararlanan çeşitli stratejiler, kentsel alanlarda sıcaklık farklılıklarını azaltabilir ve kent sakinlerinin termal konforunu iyileştirebilir. Son yıllarda, dış mekan bitkilerinin insan termal konforu üzerindeki etkilerine önemli ölçüde dikkat çekilmiş ve deneysel çalışmalar, bitki örtüsünün kentsel ortamlardaki olumsuz termal koşulların hafifletilmesinde kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Kentsel peyzajlara, özellikle ağaç dikimi ve çim örtüsü yoluyla yeşil alanların entegre edilmesinin, Akdeniz ve nemli bölgeler de dahil olmak üzere çeşitli iklim

koşullarında dış mekan termal konforunu önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir. Bitki örtüsü, termal konforu temel olarak iki mekanizma aracılığıyla artırır: gölgeleme ve buharlaşma. Ağaçlar, gölge sağlayan fiziksel bir gölgelik oluşturarak doğrudan güneş radyasyonuna maruz kalmayı etkili bir şekilde azaltır. Çalışmalar, yaz aylarında en yoğun saatlerde ağaçların varlığının, açık gökyüzü altında 'çok sıcak' ve 'sıcak' koşulların termal algısını yaklaşık %16, bulutlu günlerde ise %11 oranında azaltabileceğini göstermektedir (Wang ve ark., 2015). Ek olarak, buharlaşma-terleme süreci, konforlu bir mikro iklimin korunmasında kritik öneme sahip olan nemi serbest bırakarak çevredeki havayı soğutur (Sayad ve ark., 2021). Ayrıca, bitki türlerinin seçimi ve düzenlemeleri, termal konforu iyileştirmedeki etkinliklerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, Akdeniz iklimlerinde, mevsimler arasında termal konforu dengelemek için yaprak döken ve her dem yeşil türlerin optimum kombinasyonu önerilir. Yaprak döken ağaçlar yaz aylarında gölgeleme için tercih edilirken, her dem yeşil ağaçlar kış aylarında sıcaklığın korunmasına yardımcı olabilir (Gatto ve ark., 2020; . Bu türe özgü strateji, farklı bitki örtüsü türlerinin mevsimsel termal farklılıkları etkili bir şekilde ele alması nedeniyle iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı da destekler (Gatto ve ark., 2020; (Sayad ve ark., 2021; .

Aynı zamanda araştırmacılar, kapsamlı peyzaj tasarımının dış mekan mikro iklimlerini iyileştirmede önemli olduğunu ortaya koymuştur. Yerel çevre koşullarını ve kentsel geometriyi dikkate alan doğal tasarım tekniklerini kullanarak, Şehir planlamacıları termal konfor seviyelerini optimize edebilirler (Sayad ve ark., 2021; Taleghani, 2018). Stratejik ağaç yerleşimi ve yeşil koridorların oluşturulması gibi yenilikçi tasarım çözümlerinin, aşırı hava olaylarında insan konforunu önemli ölçüde artıran daha iyi mikro iklim koşulları sağladığı gösterilmiştir (Sayad ve ark., 2021; Zheng ve ark., 2024). Tropikal iklimlerde, artan nem ve sıcaklık nedeniyle ısı azaltımının dinamikleri farklılık gösterir. Çalışmalar, bitki örtüsünün yanı sıra yüksek albedolu malzemelerin kullanılmasının dış mekan termal konforsuzluğunda önemli azalmalara yol açabileceğini göstermektedir (Ghaffarianhoseini ve ark., 2019). Dahası, bitki örtüsünün yoğunluğu ve düzeni, etkili gölgeleme ve soğutmaya katkıda bulunarak kentsel alanlarda halk sağlığı sonuçlarını doğrudan etkiler; çünkü bitkilerin varlığı daha düşük ısı stresiyle bağlantılıdır ve böylece yüksek yoğunluklu kentsel ortamlarda genel yaşanabilirliği artırır (Huang ve ark., 2020; Wu ve ark., 2022).

Bu çalışma yaz aylarında genellikle insanların aşırı sıcaklık stresine maruz kaldığı Diyarbakır kentinde bulunana Dicle üniversitesi kampüsünde farklı türdeki bitkilerin insan konforu üzerine olan etkilerini belirlemek için yapılmıştır.

2.MATERYAL

Çalışmada materyal olarak K37.905928, D40.276675 koordinatlarında olan Diyarbakır kentinde 19.717 dönüm alan üzerine kurulmuş olan Dicle Üniversitesi kampüsü yeşil alt yapısına bağlı bitkisel peyzaj unsurları incelenmiştir (Görsel 1).



Görsel 1. Çalışma alanını gösteren konum

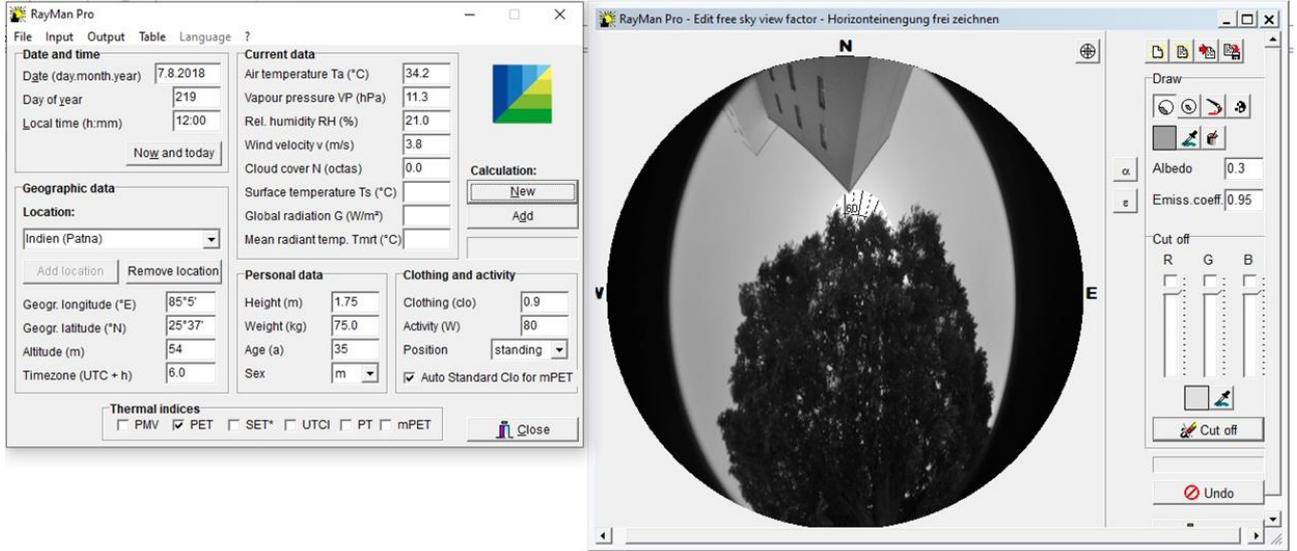
3.YÖNTEM

Çalışmada her bir bitkinin kapladığı noktasal alandan sıcaklık, nem ve rüzgar verileri elde edilmiştir. Aynı zamanda bitki gökyüzünde kapladığı alanı hesaplamak için balık göz lens entegre edilmiş SLR dijital kamera ile çekimler yapılmıştır. Bu çekimler analiz edilerek sky view factor (SVF) değerleri belirlenmiştir. 8 farklı bitkiye ait iklimsel ve SVF değerleri Rayman Pro 2.1 programına entegre edilerek Biyo iklimde önemli bir parametre olan PET değerleri belirlenmiştir (Matzarakis, A.ve Matuschek, O., 2011).

4.BULGULAR

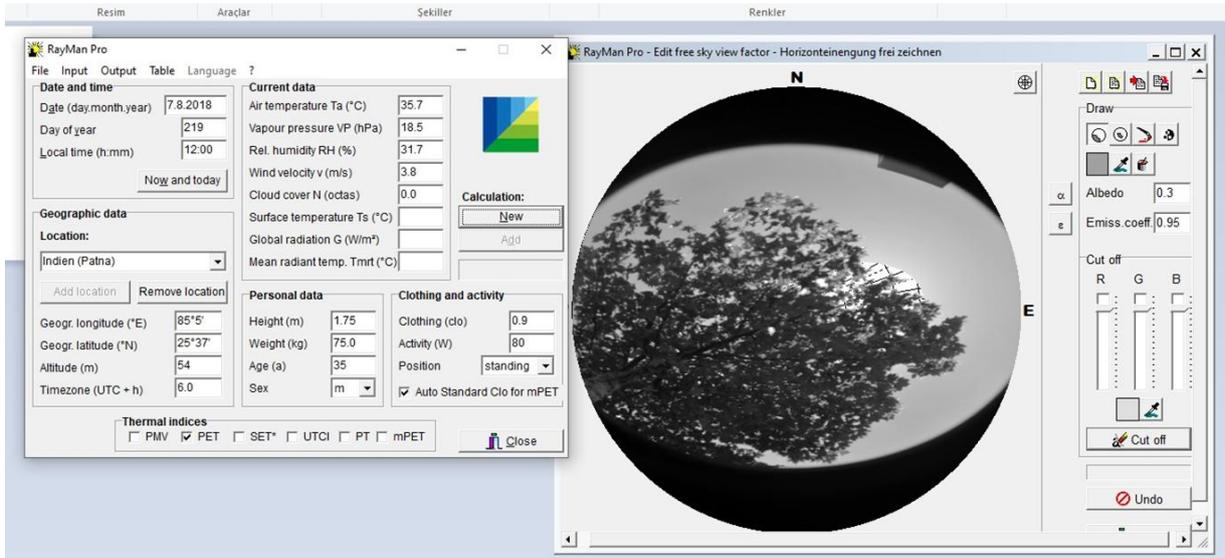
Çalışmada analiz edilen bitkiler;

Robinia pseudoacacia bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:34.2°C Rüzgar hızı:3.8 m/s Nem:%31.7 olarak belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,07 SVF, 40°C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Görsel 2).



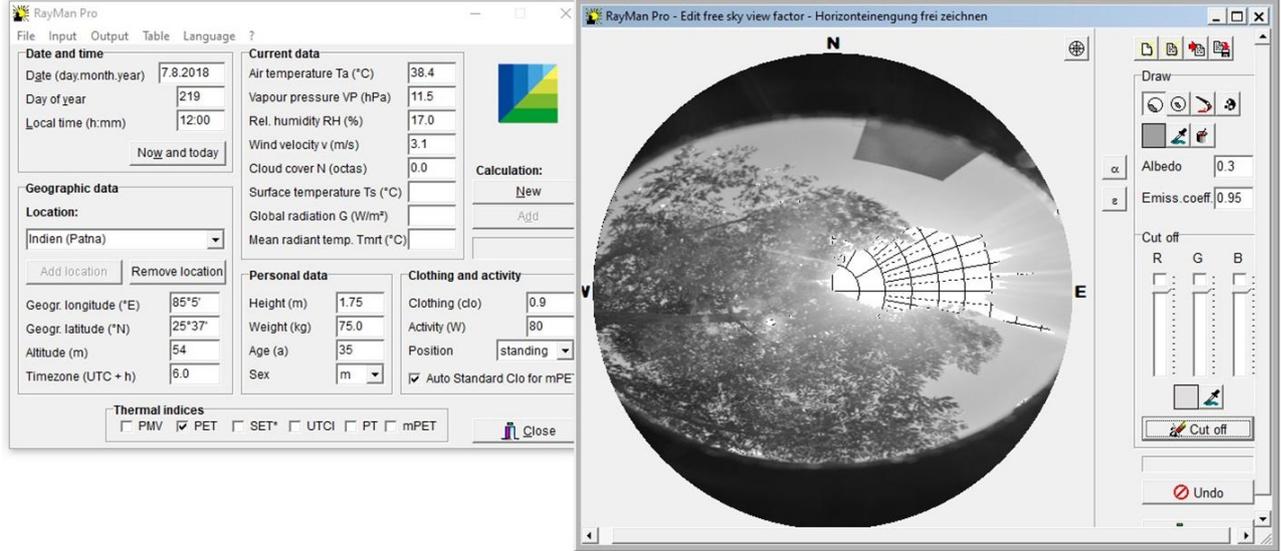
Görsel 2. *Robinia pseudoacacia* bitkisine ait analiz sonuçları

Platanus orientalis bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:35.7°C Rüzgar hızı:3.8 m/s Nem:%31.7 olarak belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,01 SVF, 42,4°C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Görsel 3).



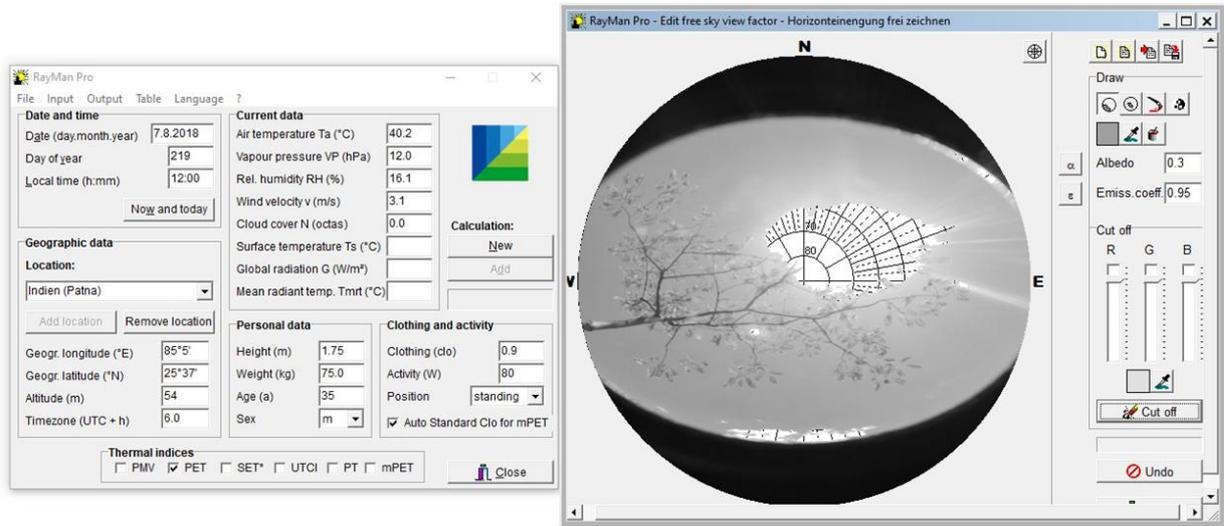
Görsel 3. *Platanus orientalis* bitkisine ait analiz sonuçları

Melia azedarach ; bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:38.4°C Rüzgar hızı:3.1 m/s Nem:%17olarak belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,07 SVF, 46,2°C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Görsel 4).



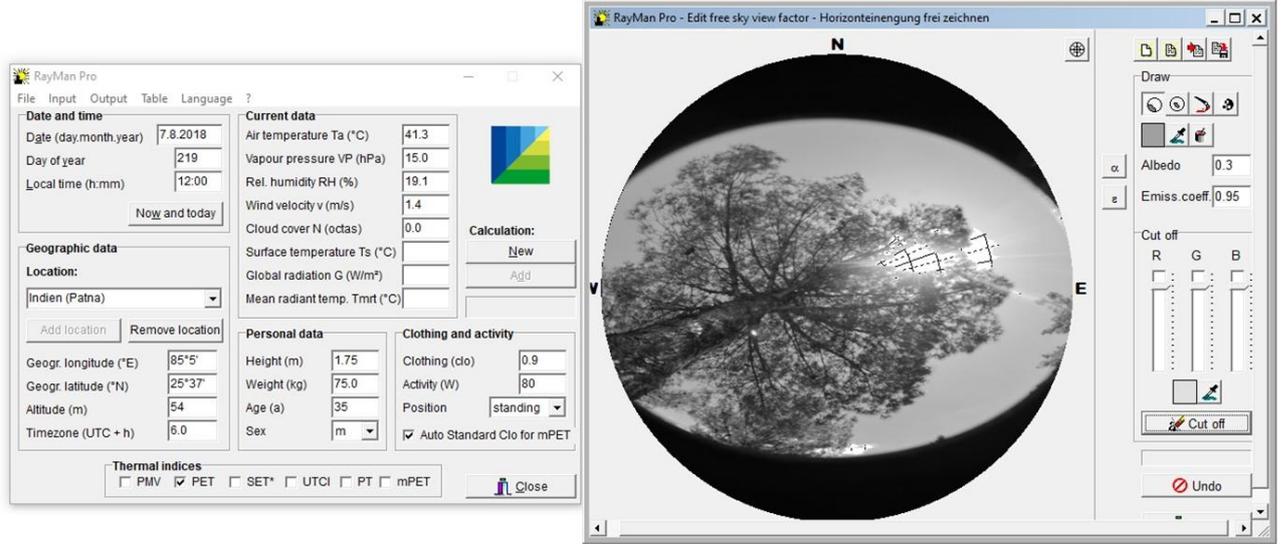
Görsel 4. *Melia azedarach* bitkisine ait analiz sonuçları

Albizia julibrissin; bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:40.2°C Rüzgar hızı:3.1 m/s Nem:%16.1 olarak belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,08 SVF, 48,7°C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Şekil 5).



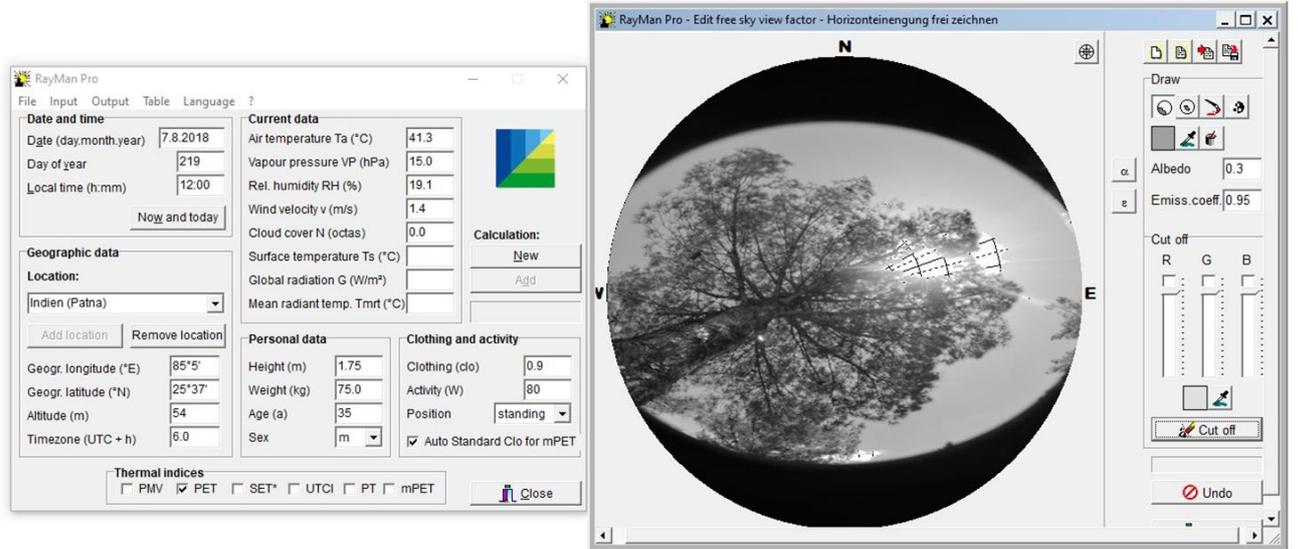
Görsel 5. *Albizia julibrissin* bitkisine ait analiz sonuçları

Pinus sylvestris; bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:41.3°C Rüzgar hızı:1.4 m/s Nem:%19.1olarak belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,01 SVF, 51,3 °C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Şekil 6).



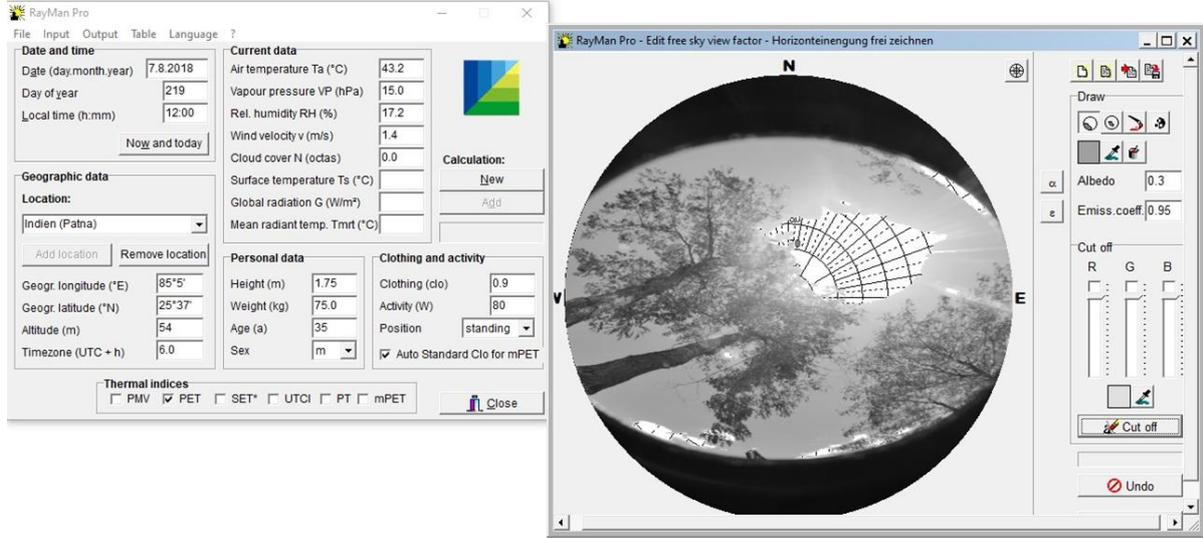
Görsel 6. *Pinus sylvestris* bitkisine ait analiz sonuçları

Cupressus sempervirens; bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:41.9°C Rüzgar hızı:1.4 m/s Nem:%16.1 olarak belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,05 SVF, 51,9 °C PET değerlerine ulaşmıştır.(Görsel 7).



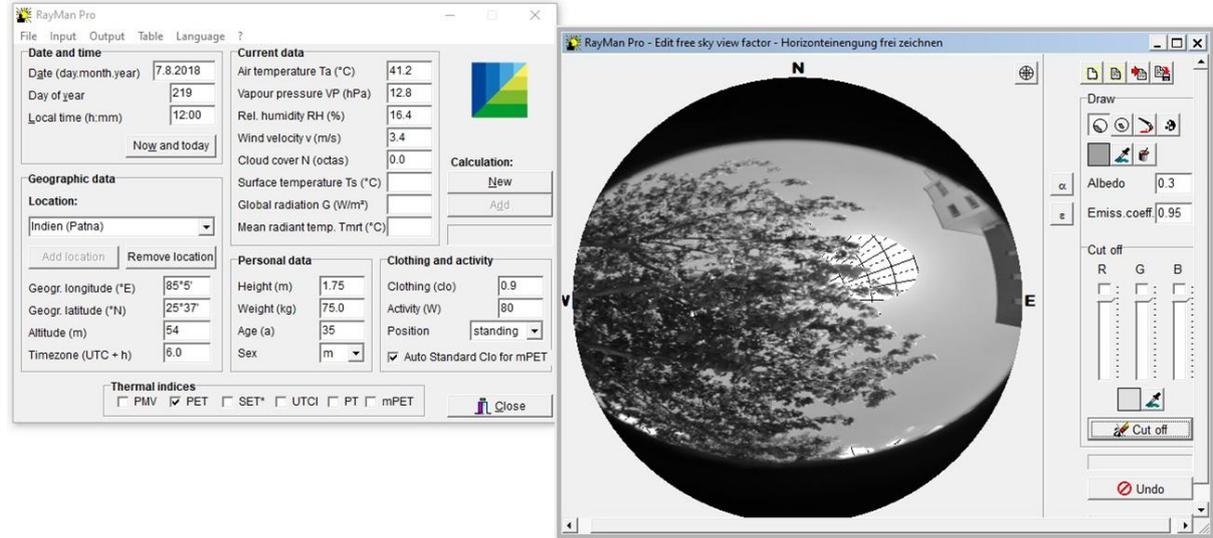
Görsel 7. *Cupressus sempervirens* bitkisine ait analiz sonuçları

Acacia penninervis; bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:43.2°C Rüzgar hızı:1.4 m/s Nem:%17.2belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,08 SVF, 53,4°C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Görsel 8).



Görsel 8. *Acacia penninervis* bitkisine ait analiz sonuçları

Acer negundo; bu bitki türü için yerinde ölçümlerde Sıcaklık:41.2°C Rüzgar hızı:3.4 m/s Nem:%16.4belirlenmiştir. Rayman programı analizine göre 0,02 SVF, 50,1°C PET değerlerine ulaşılmıştır.(Görsel 9).



Görsel 9. *Acer negundo* bitkisine ait analiz sonuçları

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Yaprak döken bitkiler, öncelikle hava sıcaklığının olumsuz etkilerini azaltarak ve buldukları ortamdaki mikro iklim koşullarını etkileyerek çeşitli mekanizmalar aracılığıyla iklim konforuna katkıda bulunurlar. Benzersiz mevsimsel yapraklanma desenleri, güneş radyasyonunun kesilmesinde önemli farklılıklara olanak tanır ve bu durum özellikle ılıman ve yüksek enlemler bölgelerde faydalıdır. Yaprak döken ağaçlar kış aylarında güneş radyasyonunun %40 ila %80'inin içeri girmesine izin vererek, altlarındaki alanların sıcaklık ve ekolojik aktivite için en çok ihtiyaç duyulan güneş ışığını almasını sağlar (Thorsson ve ark., 2017). Buna karşılık, yaprak dökmeyen ağaçlar bu güneş radyasyonunu engelleyerek kışın soğuk koşullarının daha da kötüleşmesine neden olabilir. Ayrıca, yaprak döken ağaçlar genellikle yaprak dökmeyen ağaçlara kıyasla daha geniş bir taç genişliğine ve daha geniş yaprak alanına sahiptir. Bu yaprak mimarisi, gölgeliklerinin altındaki mikro iklimleri düzenlemede, biyoçeşitliliği ve alt katman bitki örtüsünün gelişimini desteklemede önemli bir rol oynar. Bu bitki örtüsü, ilkbaharda yapraklanıp kışın çıplak kalan yaprak döken ağaçlarda oluşan benekli güneş ışığında gelişir (Liang ve Huang, 2023). Bu tür gölgelik dinamikleri, yalnızca çeşitli bitkileri desteklemekle kalmaz, aynı zamanda nemi artırır ve yakın çevrelerindeki sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak iklim konforunda önemli iyileştirmeler sağlar (Vatani ve ark., 2024).

Özellikle Diyarbakır kentinde bulunan Dicle Üniversitesi gibi sıcak iklim bölgelerinde ve yoğun kullanıma sahip alanlarda yaprak döken geniş taçlı türlerin tercih edilmesi önerilmektedir. Geniş yapraklı ağaçların sağladığı mikro iklimsel faydalar, transpirasyon yoluyla gizli ısı kaybını artıran daha yüksek yaprak alanı endeksleri ve stoma iletkenlikleri ile daha da güçlendirilir. Bu tür süreçler, ısı stresini azaltmanın kritik olduğu kentsel ortamlarda etkili soğutmaya katkıda bulunmaktadır. Kentsel mikro iklim çalışmaları, genellikle geniş yapraklıların hakim olduğu açık yeşil alanlarda bulunan çok katmanlı, yoğun bir gölgeliğe sahip bitki örtüsünün, yalnızca hava sıcaklığını değil aynı zamanda termal stresin süresini ve yoğunluğunu da azaltarak termal konforu önemli ölçüde artırabileceği öngörülmüştür. Nitekim elde edilen PET sonuçlarına göre çalışma alanında geniş yapraklı bitki türlerinin insan konforu için daha yüksek performans sağladığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L. ve Santiago, J., Impact of urban vegetation on outdoor thermal comfort: comparison between a mediterranean city (lecce, italy) and a northern european city (lahti, finland). *Forests*, 11(2), 228, 2020. <https://doi.org/10.3390/f11020228>.

Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., Al-Obaidi, K., Analyzing the thermal comfort conditions of outdoor spaces in a university campus in kuala lumpur, malaysia. *The Science of the Total Environment*, 666, 1327-1345, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.284>

Huang, Z., Wu, C., Teng, M. ve Lin, Y., Impacts of tree canopy cover on microclimate and human thermal comfort in a shallow street canyon in wuhan, china. *Atmosphere*, 11(6), 588, 2020. <https://doi.org/10.3390/atmos11060588>

Liang, D. ve Huang, G., Influence of urban tree traits on their ecosystem services: a literature review. *Land*, 12(9), 1699, 2023. <https://doi.org/10.3390/land12091699>.

Matzarakis, A., Matuschek, O., Sky view factor as a parameter in applied climatology-rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(1), 39, 2011.

Sayad, B., Alkama, D., Rebhi, R., Kidar, A., Lorenzini, G., Ahmad, H., Menni, Y., Enhanced outdoor thermal comfort through natural design technique: in-situ measurement and microclimate simulation. *Instrumentation Measure Métrologie*, 20(3), 131-136, 2021. <https://doi.org/10.18280/i2m.200302>

Sayad, B., Alkama, D., Rebhi, R., Menni, Y., Ahmad, H., İnç, M., Elnaggar, A., Outdoor thermal comfort optimization through vegetation parameterization: species and tree layout. *Sustainability*, 13(21), 11791, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132111791>

Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U. ve Ani, A. I. C., Mitigating the urban heat island effect in megacity tehran. *Advances in Meteorology*, 2014, 1-19, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/547974>

Taleghani, M., Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>

Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Monteiro, A., Katzschner, L., Lau, K. K. ve Holmer, B., Present and projected future mean radiant temperature for three european cities. *International Journal of Biometeorology*, 61(9), 1531-1543, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1332-2>

Vatani, M., Kiani, K., Mahdavinejad, M. ve Georgescu, M., Evaluating the effects of different tree species on enhancing outdoor thermal comfort in a post-industrial landscape. *Environmental Research Letters*, 19(6), 064051, 2024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad49b7>

Wang, Y., Bakker, F., Groot, R., Wörtche, H. ve Leemans, R., Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosystems*, 18(4), 1305-1331, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11252-015-0447-7>

Wu, J., Li, X., Li, S., Liu, C., Yi, T. Ve Zhao, Y., Spatial heterogeneity and attribution analysis of urban thermal comfort in china from 2000 to 2020. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5683, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095683>

Zheng, Y., Han, Q. ve Keeffe, G., An evaluation of different landscape design scenarios to improve outdoor thermal comfort in shenzhen. *Land*, 13(1), 65, 2024. <https://doi.org/10.3390/land13010065>

ERCİŞ ÜZÜMÜ (*Vitis vinifera* L.) POSASININ BAZI FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Prof. Dr. Nurhan KESKİN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, keskin@yyu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-2332-1459>

Zir. Müh. Melehat DURMAZ UYGUN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, melehatd37@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0001-9886-3140>

ÖZET

Üzüm, dünya genelinde hem taze tüketimde hem de şarap ve meyve suyu endüstrisinde büyük ölçüde ekonomik değere sahip önemli bir tarım ürünüdür. Dünya genelinde üzüm üretiminin yaklaşık %80'i şarap endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu süreçte işlenen üzümlerin %20'si ise posa olarak yan ürün şeklinde ortaya çıkmaktadır. Üzüm posası; lif, pektin, fenolik bileşikler, vitaminler ve antosiyaninler gibi biyoaktif bileşenler bakımından zengin olmasıyla dikkat çekmektedir. Bu özellikleri, posanın gıda endüstrisinde doğal katkı maddesi, renklendirici ve fonksiyonel bileşen olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Son yıllarda üzüm posasının değerlendirilmesine yönelik araştırmalar artmış, posadan elde edilen bileşiklerin antioksidan, antimikrobiyal ve fonksiyonel özellikleri ön plana çıkmıştır. Türkiye, zengin yerel üzüm çeşitlerine sahip olmasına rağmen, bu çeşitlerin posalarının biyokimyasal özellikleri konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Van ilinde yetiştirilen Erciş üzümü, bölgenin ekolojik koşullarına uyum sağlamış bir yerel çeşittir. Ancak, posasının biyoaktif bileşenleri üzerine yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu çalışma, Erciş üzümü posasının pektin, C vitamini ve antosiyanin içeriklerini belirleyerek, bu yerel çeşidin gıda ve sağlık alanındaki potansiyel kullanımını ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Vitis vinifera* L., yerel üzüm, posa, biyoaktif bileşikler, tarımsal atıkların değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik

SOME FUNCTIONAL PROPERTIES OF ‘ERCİŞ GRAPE’ (*Vitis vinifera* L.)

POMACE

ABSTRACT

Grapes are an important agricultural product with great economic value both for fresh consumption and in the wine and juice industry worldwide. Approximately 80% of global grape production is used in the wine industry. In this process, 20% of the grapes processed occur as a by-product as pomace. Grape pomace is notable for its richness in bioactive compounds such as fiber, pectin, phenolic compounds, vitamins, and anthocyanins. These properties allow it to be utilized in the food industry as a natural additive, colorant, and functional ingredient. In recent years, research on the utilization of grape pomace has increased, and the antioxidant, antimicrobial, and functional properties of compounds derived from pomace have come to the fore. Although Türkiye boasts a rich variety of native grape varieties, there are limited studies on the biochemical properties of the pomace of these varieties. The ‘Erciş grape’, grown in Van province, is a native variety adapted to the region's ecological conditions. However, studies on the bioactive components of its pomace are almost nonexistent. This study aims to determine the pectin, vitamin C, and anthocyanin contents of ‘Erciş grape’ pomace and to reveal the potential use of this local variety in food and health.

Keywords: *Vitis vinifera* L., native grape, pomace, functional compounds, utilization of agricultural waste, sustainability

1. GİRİŞ

Üzüm (*Vitis vinifera* L.), hem geleneksel tarımsal üretim hem de küresel ekonomi açısından stratejik bir bitki olup, dünya genelinde üretilen üzümlerin yaklaşık %80’i şarap yapımında kullanılmaktadır. Bu süreç, yalnızca temel ürünü değil, aynı zamanda çeşitli yan ürünleri de beraberinde getirmektedir. Şarap üretimi sırasında ortaya çıkan en önemli katı yan ürünlerden biri olan üzüm posası (ÜP), işlenen üzüm miktarının yaklaşık %20-30’unu oluşturmakta ve kabuk, çekirdek ve sap gibi bileşenlerden meydana gelmektedir [1,2]. ÜP, geleneksel olarak hayvan yemi, kompost ya da atık olarak değerlendirilmiş olsa da, bu yaklaşım çevresel sürdürülebilirlik açısından çeşitli riskler taşımaktadır. Nitekim ÜP’nin yüksek kimyasal ve biyolojik oksijen ihtiyacı, düşük pH değeri ve polifenolik zenginliği, doğrudan doğaya bırakıldığında toprak asitlenmesi, metan salınımı ve su kirliliği gibi olumsuz etkiler oluşturabilmektedir [3,4].

Son yıllarda artan çevresel farkındalık ve döngüsel ekonomi yaklaşımları, ÜP’nin bir atık değil, yüksek katma değerli bir biyokaynak olarak değerlendirilmesine olan ilgiyi

artırmıştır. ÜP, başta polifenoller olmak üzere, flavonoidler, antosiyaninler, stilbenler ve diyet lifi açısından zengin bileşimi sayesinde nutrasötik, farmasötik, gıda ve kozmetik alanlarında geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir [5,6]. Özellikle şarap yapımı sırasında fenolik bileşiklerin tamamının ekstrakte edilememesi, bu değerli bileşiklerin büyük kısmının posada kalmasına neden olmakta ve ÜP'yi doğal bir antioksidan ve biyoaktif madde kaynağı haline getirmektedir. Literatürde, ÜP'deki toplam fenolik içeriğin %50'ye kadarının flavan-3-oller ve prosiyanidinler gibi güçlü antioksidanlardan oluştuğu; antosiyaninler, stilbenler ve fenolik asitlerin de bu yapıya önemli katkılar sunduğu bildirilmektedir [7,8].

Bununla birlikte, ÜP'nin kimyasal bileşimi ve biyolojik aktivitesi, üzüm çeşidi, iklimsel koşullar, toprak yapısı ve vinifikasyon teknikleri gibi pek çok faktöre bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilmektedir [9]. Bu durum, her bölgeye ve her çeşide özgü ÜP'nin ayrı ayrı karakterize edilmesini gerektirmektedir. Nitekim yapılan çalışmalar, kırmızı üzüm çeşitlerinden elde edilen posaların beyaz çeşitlere oranla daha yüksek fenolik bileşik ve antioksidan kapasiteye sahip olduğunu göstermiştir [10,11].

Van iline özgü üzüm çeşidi olan Erciş üzümü, şaraplık-şıralık bir çeşit olup, posasına yönelik bilimsel değerlendirmeler henüz yeterince yapılmamıştır. Oysa yerel üzüm çeşitlerinden elde edilen ÜP'nin işlevsel özelliklerinin belirlenmesi, bölgesel ekonomiye katkı sağlamakta ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Erciş üzümünden elde edilen üzüm posasının fonksiyonel özelliklerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Elde edilen verilerin, bu çeşide özgü posanın gıda, kozmetik ve sağlık endüstrilerinde değerlendirilmesine yönelik yeni perspektifler sunacağı ve şarap üretim yan ürünlerinin sürdürülebilir yönetimi konusunda literatüre özgün katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmanın materyalini Sun Power Enerji Elektrik Mühendislik İnşaat Sanayi Anonim Şirketi'nden temin edilen 2025 sezonuna ait Erciş üzümü posası oluşturmaktadır. Posalar, hava sirkülasyonlu bir fırında yaklaşık 16 saat boyunca 60 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan posa, blender kullanılarak öğütülmüş ve toz haline getirildikten sonra, analiz yapılana kadar kapaklı polietilen şişelerde saklanmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1 Pektin tayini

Pektin, Pearson yöntemi [12] ile belirlenmiştir. Bu yöntem, serbest uronik asit kalıntılarının yüklerinin kalsiyum iyonları ile nötralize edilmesini ve pektinin jel oluşturup çökmesini sağlar. Sonuçlar, 100 g'da gram kalsiyum pektat olarak ifade edilmiştir.

2.2.2 C vitamini tayini

C vitamini içeriği Reflectoquant Plus 10 cihazı (Merck RQflex Plus 10, Türkiye) kullanılarak belirlenmiş ve 100 g'da mg askorbik asit eşdeğeri (AAE) cinsinden ifade edilmiştir.

2.2.3 Toplam antosiyanin tayini

Toplam antosiyanin tayini, Francis [13]'e göre yapılmıştır. Bu işlemde, 1 g kurutulmuş üzüm posası HCl (1.5 N) ve %85 etanol çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Karışım, 24 saat boyunca soğutulmuş ve ışıksız bir ortamda bekletildikten sonra filtrelenmiş ve spektrofotometrede 535 nm dalga boyunda ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar, 100 g örnekteki toplam mg antosiyanin olarak ifade edilmiş ve $(\text{absorbans} \times \text{seyreltme faktörü}) / 98.2$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

2.3. İstatistik analiz

Analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Üzerinde durulan özelliklerden sürekli değişkenler için tanımlayıcı istatistikler; Ortalama ve Standart sapma olarak ifade edilmiştir. Hesaplamalar için SPSS (ver: 20) istatistik paket programından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Erciş üzümü posasının fonksiyonel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Erciş üzümü posasının fonksiyonel özellikleri

Fonksiyonel Özellik	Ortalama \pm Standart Hata
Pektin (g/100 g)	3.19 \pm 0.34
C vitamini (mg/AAE/100 g)	16.67 \pm 1.81
Toplam antosiyanin (mg/100 g)	105 \pm 9.5

Çizelge 1'de görüldüğü üzere pektin miktarı 3.19 \pm 0.34 g/100 g, C vitamini içeriği 16.67 \pm 1.81 mg/AAE/100 g ve toplam antosiyanin miktarı 105 \pm 9.5 mg/100 g olarak belirlenmiştir.

Erciş üzümü posasında tespit edilen pektin miktarı (3.19 g/100 g), Sousa vd. [14] tarafından Brezilya'nın yarı kurak bölgelerinde yetiştirilen Benitaka üzüm posasında bildirilen 3.92 g/100 g değerinden biraz daha düşük olmakla birlikte, Bravo ve Saura-Calixto [15]

tarafından bildirilen 2.3-4.4 g/100 g aralığına uygundur. Bu durum, Erciş üzüm posasının kıvam artırıcı veya jel oluşturucu özellikleri bakımından gıda endüstrisinde potansiyel bir katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Pektin, aynı zamanda çözünür diyet lifleri (SDF) içinde yer almakta olup, bağırsak sağlığına olumlu etkileri ile bilinir [15]. Literatürde, SDF'nin genellikle pektin açısından zengin olduğu, çözünmeyen diyet lifine (IDF) oranla daha biyolojik etkili olduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, Erciş üzüm posasında belirlenen pektin düzeyinin, hem teknolojik işlevsellik hem de sağlık destekleyici nitelikler açısından dikkate değer olduğu söylenebilir.

Erciş üzümü posasında ölçülen C vitamini düzeyi 16.67 mg/100 g olup, Souza vd. [16] tarafından *Vitis vinifera* L. kabuklarında bildirilen 4.9-12.2 mg/100 g aralığının üzerindedir. Ayrıca Pinheiro vd. [17] tarafından üzümün yenilebilir kısmı için bildirilen 10.8 mg/100 g ortalama değerinin üzerinde iken, Benitaka üzüm posasında bildirilen 26.25 mg/100 g [14] değerinin altındadır.

Erciş üzümü posasının toplam antosiyanin içeriği 105 mg/100 g olarak belirlenmiştir. Bu değer, Sousa vd. [14] tarafından elde edilen Benitaka üzüm posasındaki 131 mg/100 g düzeyinden düşük olmasına rağmen, Bridle ve Timberlake [18]'in bildirdiği 30-750 mg/100 g değişim aralığı içerisinde yer almakta olup, orta-yüksek bir seviye olarak değerlendirilebilir. ÜP'de bulunan antosiyanin düzeyleri üzüm çeşidine, tanenin rengine, yetiştirme koşullarına, hasat zamanına ve posanın fizikokimyasal yapısına göre değişkenlik göstermektedir [19]. Bu bağlamda, Erciş üzümünün Van ilinin özgün ekolojik koşullarında yetişen yerel bir çeşit olması, bu bileşiğin seviyesini etkileyen önemli bir unsur olabilir. Literatürde kırmızı üzüm posalarındaki antosiyanin içeriğinin genellikle daha yüksek olduğu bildirilmektedir [20]. Cabernet Sauvignon çeşidinde 156.62 mg/g, Merlot'ta 134.22 mg/g düzeylerine ulaşılırken, Muscat Ottonel (26.83 mg/g) ve Tamaioasa Romaneasca (53.53 mg/g) beyaz üzüm posalarında bu değerlerin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [20]. Pinot Noir kırmızı üzüm posasında ise daha geniş bir varyasyon (50.61-131.86 mg/g) söz konusudur [20]. Ayrıca, Cabernet Sauvignon posasında 70.3 mg/g [21], Merlot'ta 89.6 mg/g [22] gibi daha düşük seviyelerde antosiyanin rapor edilmiştir. Rockenbach vd. [7] ise bazı kırmızı üzüm posalarında 385.93 ile 934.67 mg/100 g gibi oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu veriler göz önüne alındığında, Erciş üzüm posasında tespit edilen 105 mg/100 g'lık antosiyanin düzeyi, pek çok kırmızı üzüm çeşidiyle kıyaslandığında rekabetçi bir seviyede olup, bu posanın doğal bir renk verici ya da antioksidan kaynağı olarak fonksiyonel gıda formülasyonlarında değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Erciş üzümü posasının bazı fonksiyonel özelliklerini inceleyerek, pektin, C vitamini ve toplam antosiyanin içeriği açısından değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, Erciş üzümü posasının hem teknolojik hem de besinsel açıdan dikkate değer özellikler taşıdığını ortaya koymuştur. Özellikle 3.19 g/100 g pektin içeriğiyle çözünür diyet lif yönünden zengin bir kaynak olduğu belirlenmiş, bu da söz konusu posanın fonksiyonel gıdalar ve lif katkılı ürünlerde kullanım potansiyelini göstermektedir.

C vitamini düzeyi (16.67 mg/100 g), literatürde bildirilen birçok üzüm kabuğu ve posası değerinin üzerinde olup, bu durum antioksidan kapasitenin korunmuş olabileceğini göstermektedir. Toplam antosiyanin içeriği ise 105 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Bu değer, üzüm çeşitleri arasında orta-yüksek düzeyde sayılabilecek bir içeriğe işaret etmekte olup, Erciş üzümü posasının doğal renklendirici veya antioksidan ajan olarak gıda endüstrisinde kullanım potansiyelini desteklemektedir.

Öneriler;

Elde edilen bulgular doğrultusunda, Erciş üzümü posası ununun kek, bisküvi, bar, yoğurt gibi fonksiyonel gıda ürünlerine katkı maddesi olarak ilave edilmesi değerlendirilebilir. Pektin ve antosiyanin içeriği bakımından zengin olan bu posanın, prebiyotik etkili ürün formülasyonlarında doğal bir içerik olarak kullanımı teşvik edilmelidir.

Bu çalışmada yalnızca bazı temel fonksiyonel bileşenler incelenmiştir. Erciş üzümü posasının polifenol profili, toplam diyet lifi miktarı, mineral içeriği ve antioksidan kapasitesi gibi diğer biyoaktif bileşenler yönünden de detaylı analizlerinin yapılması önerilmektedir. Ayrıca bu yerel tarımsal atığın biyoplastik, kozmetik ya da takviye edici gıda üretimi gibi farklı sektörlerde değerlendirilmesine yönelik çalışmalar desteklenmelidir.

Sonuç olarak, Erciş üzümü posasının gıda sanayisinde katma değeri yüksek bir hammadde olarak öne çıktığı, hem sürdürülebilir üretim hem de yerel tarımsal kaynakların değerlendirilmesi açısından önemli bir potansiyel oluşturduğu söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışmaya, FYL-2025-11871 no'lu proje kapsamında destek sağlayan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

[1] Dwyer, K., Hosseinian, F., & Rod, M. (2014). The market potential of grape waste alternatives. *Journal of Food Research*, 3(2), 91–106.

- [2] Moutinho, J., Gouvinhas, I., Domínguez-Perles, R., & Barros, A. (2023). Optimization of the extraction methodology of grape pomace polyphenols for food applications. *Molecules*, 28(9), 3885.
- [3] Abreu, T., Sousa, P., Gonçalves, J., Hontman, N., Teixeira, J., Câmara, J. S., & Perestrelo, R. (2024). Grape pomace as a renewable natural biosource of value-added compounds with potential food industrial applications. *Beverages*, 10(2), 45.
- [4] Wang, C., You, Y., Huang, W., & Zhan, J. (2024). The high-value and sustainable utilization of grape pomace: A review. *Food Chemistry: X*, 24, 101845.
- [5] Deng, Q., Penner, M. H., & Zhao, Y. (2011). Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. *Food Research International*, 44(9), 2712-2720.
- [6] Caponio, G. R., Minervini, F., Tamma, G., Gambacorta, G., & De Angelis, M. (2023). Promising application of grape pomace and its agri-food valorization: source of bioactive molecules with beneficial effects. *Sustainability*, 15(11), 9075.
- [7] Rockenbach, I. I., Gonzaga, L. V., Rizelio, V. M., Gonçalves, A. E. D. S. S., Genovese, M. I., & Fett, R. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (*Vitis vinifera* and *Vitis labrusca*) pomace from Brazilian winemaking. *Food Research International*, 44(4), 897-901.
- [8] Németh, K., Plumb, G. W., Berrin, J. G., Juge, N., Jacob, R., Naim, H. Y., ... & Kroon, P. A. (2003). Deglycosylation by small intestinal epithelial cell β -glucosidases is a critical step in the absorption and metabolism of dietary flavonoid glycosides in humans. *European Journal of Nutrition*, 42(1), 29-42.
- [9] Karastergiou, A., Gancel, A. L., Jourdes, M., & Teissedre, P. L. (2025). Transforming winemaking waste: Grape pomace as a sustainable source of bioactive compounds: This is an original research article submitted in cooperation with Macrowine 2025. *OENO One*, 59(2).
- [10] Castellanos-Gallo, L., Ballinas-Casarrubias, L., Espinoza-Hicks, J. C., Hernández-Ochoa, L. R., Muñoz-Castellanos, L. N., Zermeño-Ortega, M. R., ... & Salas, E. (2022). Grape pomace valorization by extraction of phenolic polymeric pigments: A review. *Processes*, 10(3), 469.
- [11] Milella, R. A., Forte, G., Calcagno, F., Gentileco, G., Debiase, G., Mazzone, F., ... & Tarricone, L. (2023). Soil management affects the nutraceutical properties of Primitivo's grape pomace. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 68, p. 04015). EDP Sciences.
- [12] Pearson, D. (1976). *Chemical analysis of foods* (7th ed.). Livingstone: Churchill. p. 7-11.
- [13] Francis, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. In *Anthocyanins as food colors* (pp. 181–207). Academic Press.

- [14] Sousa, E. C., Uchôa-Thomaz, A. M. A., Carioca, J. O. B., Morais, S. M. D., Lima, A. D., Martins, C. G., ... & Rodrigues, L. L. (2014). Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.), Benitaka variety, grown in the semiarid region of Northeast Brazil. *Food Science and Technology*, 34, 135-142.
- [15] Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (1998). Characterization of dietary fiber and the in vitro indigestible fraction of grape pomace. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(2), 135-141.
- [16] Souza, A. V. D., Gomes, G. P., Vieira, M. R. D. S., Vieites, R. L., & Lima, G. P. P. (2012). Avaliação de antioxidantes em casca de *Vitis* sp. *Revista Alimentus*, 2(2), 10-19.
- [17] Pinheiro, É. S., da Costa, J. M. C., Clemente, E., Machado, P. H. S., & Maia, G. A. (2009). Estabilidade físico-química e mineral do suco de uva obtido por extração a vapor. *Revista Ciência Agronômica*, 40(3), 373-380.
- [18] Bridle, P., & Timberlake, C. F. (1997). Anthocyanins as natural food colours—selected aspects. *Food chemistry*, 58(1-2), 103-109.
- [19] Kato, C. G., Tonhi, C. D., & Clemente, E. (2012). Antocianinas de uvas (*Vitis vinífera* L.) produzidas em sistema convencional. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 6(2), 809-821.
- [20] Onache, P. A., Geana, E. I., Ciucure, C. T., Florea, A., Sumedrea, D. I., Ionete, R. E., & Tița, O. (2022). Bioactive phytochemical composition of grape pomace resulted from different white and red grape cultivars. *Separations*, 9(12), 395.
- [21] Rajha, H. N., El Darra, N., Hobaika, Z., Boussetta, N., Vorobiev, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2014). Extraction of total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and tannins from grape byproducts by response surface methodology. Influence of solid-liquid ratio, particle size, time, temperature and solvent mixtures on the optimization process. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 397–409.
- [22] Ribeiro, L. F., Ribani, R. H., Stafussa, A. P., Makara, C. N., Branco, I. G., Maciel, G. M., & Haminiuk, C. W. I. (2022). Exploratory analysis of bioactive compounds and antioxidant potential of grape (*Vitis vinifera*) pomace. *Acta Scientiarum. Technology*, 44, e56934.

OSPREY OPTIMIZATION ALGORITHM (OOA) FOR WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) COVERAGE OPTIMIZATION

Assoc. Prof. Dr. Emine BAŞ^{1}*

¹ Department of Software Engineering, Faculty of Computer and Information Sciences, Konya Technical University, Türkiye, ebas@ktun.tr- <https://orcid.org/0000-0003-4322-6010>

Abstract: The fundamental assumption for the efficient operation of Wireless Sensor Networks (WSNs) is that all sensor nodes in the monitoring area are effectively covered. The main objective in the WSN coverage optimization problem is to determine the optimal positions of all sensor nodes randomly placed in the monitoring area without creating coverage gaps. Due to the high success of metaheuristic algorithms, this study also solves the WSN coverage optimization problem using the recently proposed Osprey Optimization Algorithm (OOA). OOA attempts to determine the optimal positions of sensor nodes. This improves sensor node coverage and reduces coverage gaps. The performance of OOA was analyzed by distributing five different numbers of sensor nodes (20, 40, 60, 80, and 100) across three different monitoring areas (40m x 40m, 100m x 100m, and 200m x 200m), and analyzing the network coverage ratios. Furthermore, a penalty value was obtained by dividing the number of uncovered sensor nodes by the number of covered sensor nodes. A fitness function using this penalty value and coverage ratio was defined for the WSN coverage optimization problem. The fitness results, coverage ratio and obtained by minimizing this fitness function are also examined in detail in this study. The results show that OOA performs sufficiently well in solving the coverage optimization problem in WSNs.

Keywords: Osprey, Wireless sensor networks (WSNs), Coverage ratio, Monitoring area

1. INTRODUCTION

Thanks to advances in computer network technologies, wireless sensor networks (WSNs) have gained a significant place in the communications industry. A WSN is a network system composed of many sensor nodes that communicate wirelessly. Sensor nodes can communicate and share data with each other within range (Ali and Özdağ, 2022; Balaji, et al., 2020).

In recent years, WSNs have been used in many different sectors due to the practical solutions they offer. Some of these include agricultural production, disaster recovery, etc. To achieve optimal performance from WSNs, it is necessary to maximize the coverage area of the sensor nodes that make up the WSN. This is known as the coverage problem in WSNs. Sensor nodes in WSNs are typically placed randomly in mountainous or hard-to-reach areas, resulting in insufficient coverage gaps (Khan and Kumar, 2020; Li et al., 2024).

Many studies have been conducted in the literature on redistributing sensor nodes to improve the coverage performance of wireless sensor networks, thus improving network detection, acquisition, processing, and communication quality of service (QoS). Metaheuristic algorithms, often due to their success in simulating swarm behavior, have been frequently used in solving WSN coverage problems.

Li et al. proposed a virtual force-directed improved sand cat swarm optimization algorithm (VF-ISCSO) for WSN coverage problem (Li et al., 2024). They designed a nonlinear convergence strategy for the sensitivity of sand cats and improved the prey search mechanism of sand cats. They then proposed a virtual resultant force applied to the nodes and a disturbance factor for the sand cat location updates to increase the algorithm's convergence speed and optimization capability. They tested the network coverage rate of the VF-ISCSO algorithm by placing 30 sensor nodes in a 60 m×80 m monitoring area. They found the network coverage rate to be approximately 99.61% (Li et al., 2024). In another study, Zhong et al. hybridization of the Crayfish Optimization Algorithm (COA) and the Remora Optimization Algorithm (ROA) (Zhong et al., 2024). They proposed a remora crayfish optimization algorithm (HRCOA). The success of HRCOA was tested in various problems, including the WSN coverage problem. Ou et al. solved the WSN coverage optimization problem using the Multi-Strategy Improved Gray Wolf Optimization Algorithm (IGWO-MS) (Ou et al., 2024). Song et al. proposed a novel enhanced HPO (NEHPO) algorithm for the WSN coverage optimization problem (Song et al., 2024). To increase diversity in NEHPO, the initial population is distributed using Sobol sequence sampling. A new nonlinear convergence factor is then added to balance global exploration and local exploitation in NEHPO. Finally, Lévy flight and vertical-horizontal migration strategies are added to alleviate the late-term local optimum problem of the HPO algorithm (Song et al., 2024). The success of NEHPO has been tested on the WSN coverage problem.

In this study, the WSN coverage problem was solved with the Osprey Optimization Algorithm (OOA), a new metaheuristic algorithm proposed by Dehghani and Trojovský in 2023. The primary inspiration for OOA was the strategies used by ospreys when hunting fish at sea. OOA consists of two phases: exploration and exploitation. OOA was developed by mathematically modeling the different behaviors of ospreys in both phases. A review of the literature revealed that OOA has not solved the WSN coverage problem. Although OOA has been tested for its success in various problems, this paper is presented to address this gap in the literature due to the different nature of the WSN coverage problem. In this study, five different sensor nodes (20, 40, 60, 80, and 100) were placed in three different monitoring areas (40m x 40m, 100m x 100m, and 200m x 200m) and their coverage ratios were analyzed. The coordinate information of the sensor nodes was plotted on the dimensions of the candidate OOA solutions to determine the optimal sensor node positions. The results obtained constitute a resource for researchers who will solve the WSN coverage problem with different meta-heuristic algorithms in the literature, and this study has gained originality because the success of OOA on the WSN coverage problem is presented for the first time in this study.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Osprey Optimization Algorithm (OOA)

Ospreys are birds of prey that hunt fish during the day. Fish eagles have unique physical characteristics. They are a bird with a dark glossy brown upperparts, a white breast with occasional brown streaks, and pure white underparts. Most ospreys hunt fish. They have excellent underwater vision. While flying above the water, they detect the location of submerged fish and dive into the water. Once they have caught their prey, they carry it to a rock and eat it (Grove et al., 2009; Poole et al., 2002). The OOA algorithm was created by Dehghani and Trojovský in 2023 by mathematically expressing the fishing and fish-eating behavior of the osprey (Dehghani and Trojovský, 2023).

Algorithm and mathematical model of OOA:

The OOA algorithm is designed to mimic a population-based flock behavior. The population consists of ospreys. Each osprey searches the search space for the best solution. In OOA, the osprey flock is initially initialized randomly according to Equations 1 and 2.

- **Population:** A group of ospreys constitutes a population. Each row in Figure 1 represents a solution (osprey) and each element X_i^N represents a decision variable (position). Figure 2 shows representation of the osprey population. Figure 3 shows representation of a osprey (solution) and positions (decision variables).

	Positions									
Osprey _i	4.7	3.4	2.7	1.4	0.7	5.3	4.1	2.5	1.9	7.3

Figure 1. Representation of the one Osprey (Dehghani and Trojovský, 2023).

Osprey ₁	X_1^1	X_1^2	X_1^3	...	X_1^N	} Population
Osprey ₂	X_2^1	X_2^2	X_2^3	...	X_2^N	
Osprey ₃	X_3^1	X_3^2	X_3^3	...	X_3^N	
.	
.	
Osprey _{nPop}	X_{nPop}^1	X_{nPop}^2	X_{nPop}^3	...	X_{nPop}^N	

Figure 2. Representation of the osprey population (Dehghani and Trojovský, 2023).

Osprey ₁	0.3	0.7	0.1	0.2	0.8	0.4	0.5	0.9	0.1	0.6
Osprey ₂	0.5	0.4	0.2	0.3	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
Osprey ₃	0.7	0.6	0.8	0.1	0.2	0.4	0.3	0.8	0.7	0.6
.
.
.
Osprey _{nPop}	0.9	0.6	0.3	0.5	0.4	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2

Figure 3. Representation of a osprey (solution) and positions (decision variables) (Dehghani and Trojovský, 2023).

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_{nPop} \end{bmatrix}_{nPop \times N} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,j} & \cdots & x_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1,i} & \cdots & x_{i,j} & \cdots & x_{i,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{nPop,i} & \cdots & x_{nPop,j} & \cdots & x_{nPop,N} \end{bmatrix}_{nPop \times N} \quad (1)$$

$$x_{i,j} = L_{B_j} + r_{i,j} \times (U_{B_j} - L_{B_j}), \quad i = 1, 2, 3, \dots, nPop; \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

where X is the population matrix of ospreys' locations, X_i is the i^{th} osprey (a candidate solution), $x_{i,j}$ is its j^{th} dimension (problem variable), $nPop$ is the number of ospreys, m is the number of problem variables, $r_{i,j}$ are random numbers in the interval $[0, 1]$, L_{B_j} , and U_{B_j} are the lower bound and upper bound of the j^{th} problem variable, respectively (Dehghani and Trojovský, 2023).

- **Fitness (objective-function) evaluation:** The fitness of positions for each osprey X_i is calculated using a user-defined objective function $f x_i \leftarrow F(X_i)$ on the decision variables (positions) $\{X_i = \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^N\}$.

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_i \\ \vdots \\ F_{nPop} \end{bmatrix}_{nPop \times 1} = \begin{bmatrix} f(x_1) \\ \vdots \\ f(x_i) \\ \vdots \\ f(x_{nPop}) \end{bmatrix}_{nPop \times 1} \quad (3)$$

Phase 1: Position identification and hunting the fish (exploration): This phase is also known as the exploration phase in OOA. By simulating the underwater hunting of fish by ospreys, the OSP tries to avoid local traps. This is illustrated in Equations 5-7.

$$F_Pos_i = \{X_m | m \in \{1, 2, 3, \dots, nPop\} \wedge F_m < F_i\} \cup \{X_{best}\} \quad (4)$$

$$x_{i,j}^{New1} = x_{i,j} + r_{i,j} \times (S_Fish - L_{i,j} \times x_{i,j}) \quad (5)$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{New1}, & F_i^{New1} < F_i \\ X_i, & else \end{cases} \quad (6)$$

where F_Pos_i is the set of fish positions of the i^{th} osprey, X_{best} is the position of the best osprey, X_i^{New1} is the new position of the i^{th} osprey, F_i^{New1} is the fitness function value of the new osprey position, S_Fish is the position of the selected fish for i the osprey, $r_{i,j}$ is a random number in the interval $[0,1]$, and $L_{i,j}$ are the random numbers from the set $\{1,2\}$ (Dehghani and Trojovský, 2023).

Phase 2: Carrying the fish to the suitable position (exploitation): This phase is also known as the exploitation phase in OOA. By simulating the ospreys' ability to transport and eat their prey fish to a safe location, this leads to small changes in the ospreys' positions, which increases their success in local search. This is illustrated in Equations 7-8.

$$x_{i,j}^{New2} = x_{i,j} + \frac{L_{Bj} + r_{i,j} \times (U_{Bj} - L_{Bj})}{t}, i = 1, 2, 3, \dots, nPop, j = 1, 2, 3, \dots, N, t = 1, 2, 3, \dots, MaxIter \quad (7)$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{P2}, & F_i^{New2} < F_i \\ X_i, & else \end{cases} \quad (8)$$

where X_i^{New2} is the new position of the i th osprey, F_i^{new2} is the fitness function value of the new osprey position, $r_{i,j}$ is a random number in the interval $[0,1]$, t is the current iteration number of the algorithm, and $MaxIter$ is the maximum iteration number of the algorithm (Dehghani and Trojovský, 2023). The pseudo-code of OOA is shown in Algorithm 1 (Dehghani and Trojovský, 2023).

Algorithm 1: The OOA Algorithm (Dehghani and Trojovský, 2023)

```

1: Initialization:
2:   Initialize Population
3:   Set  $t=1, i=1, MaxIter, nPop, N, U_B, L_B$ 
4:   While ( $t \leq MaxIter$ ) Do
5:     For  $i=1$  To  $nPop$  Do
6:       Calculate initial positions of the osprey swarm based on Eq. (1) and Eq. (2).
7:       Calculate fitness values for each osprey in population based on Eq. (3).
8:       // Phase 1: Position identification and hunting the fish (exploration)
9:       Calculate  $F_{Pos_i}$  based on Eq. (4).
10:      Calculate new position of the  $i$ th osprey based on Eqs. (5).
11:      Evaluate the fitness value of the  $i^{th}$  osprey ( $F_i' \leftarrow F(X_i^{New1})$ ) based on Eq. (6).
12:      // Phase 2: Carrying the fish to the suitable position (exploitation):
13:      Calculate new position of the  $i$ th osprey based on Eqs. (7).
14:      Evaluate the fitness value of the  $i^{th}$  osprey ( $F_i' \leftarrow F(X_i^{New2})$ ) based on Eq. (8).
15:       $t = t + 1$ 
16:     End For
17:   End While
18:   Return The best solution ( $X_{best}$ )

```

2.2. Wireless Sensor Network (WSN) Coverage Optimization Problem

In Wireless Sensor Networks (WSNs), the sensing range of a sensor node is a circular area where the sensor node is the center and R is the radius. Furthermore, only monitoring points within this area can be detected by the sensor node. Therefore, the radius R of this circular area is called the sensing radius. The coverage area of a wireless sensor network (WSN) is considered as a two-dimensional plane.

We can make some assumptions for the WSN coverage optimization problem. These are:

Assumption 1: All nodes have the same structure and sensing range;

Assumption 2: The sensing range of all nodes is circular and unaffected by obstacles;

Assumption 3: All nodes can detect and obtain the locations of other nodes within their sensing range in real time.

Briefly, assuming the above assumptions, the definition of the WSN coverage problem is as follows:

The monitoring area (ϕ) is set as a rectangle with a length of L and a width of W , and its area is $\phi = L * W$. The four vertex coordinates of the monitoring area in the plane coordinate system are $(0, 0)$, $(0, W)$, $(L, 0)$, (L, W) . The monitoring area is discretized into m grids with equal area and mutual symmetry. Then, the center point of the grid is the monitoring point, and its set is $A = \{A_j = (x_j, y_j) (j = 1, 2, 3, \dots, k)\}$. Due to the symmetry between grids, the coordinate transformation of these monitoring points should become simple, which can effectively reduce the calculation load of the model. Next, n sensor nodes are randomly deployed in the monitoring area, and their set is $B = \{B_i = (x_i, y_i) (i = 1, 2, 3, \dots, n)\}$. Last, all nodes adopt the Boolean sensing model, and the sensing radius of each node is R . The Euclidean distance between the sensor node and the monitoring point is as follows:

$$d(B_i, A_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (9)$$

In Equation 9, $d(B_i, A_j)$ represents the Euclidean distance between sensor node B_i and monitoring point A_j . (x_i, y_i) is the coordinate of the node B_i , and (x_j, y_j) is the coordinate of monitoring point A_j . If monitoring point A_j is located in the sensing range of sensor node B_i with itself as the center and radius R_s , it means that the monitoring point is sensed by the sensor node, that is, the grid where it is located is covered by WSN. In addition, the probability that monitoring point A_j is sensed by sensor network node B_i is as follows:

$$P(B_i, A_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(B_i, A_j) \leq R_s \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

In Equation 10, $P(B_i, A_j)$ represents the probability that the monitoring point A_j can be sensed by the sensor node B_i , and R is the sensing radius. Meanwhile, each monitoring point A_j may be repeatedly perceived by multiple other sensor nodes, so the joint perception probability of all sensor nodes towards monitoring point A_j is shown in Equation (11).

$$P_C(B_{all}, A_j) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p(B_i, A_j)) \quad (11)$$

In Equation 11, $P_C(B_{all}, A_j)$ represents the joint probability that monitoring point A_j can be sensed by all sensor nodes. B_{all} represents all wireless sensor nodes within the monitoring area. n is the number of sensor nodes deployed within the monitoring area. In WSN, coverage is an important indicator for evaluating its performance. Therefore, the coverage of the coverage model is defined as the ratio of the coverage area to the monitoring area, and the coverage area is defined as the sum of the joint perception probabilities of all monitoring points and the product of the grid area. The formula for solving coverage is shown below:

$$C_r = \frac{\sum_{j=1}^k P_C(B_{all}, A_j) * K}{L * W} \quad (12)$$

In Equation 12, C_r represents the coverage rate. K represents the network area, and its value is $K = \frac{L*W}{k}$. $L * W$ represents the area of the monitoring area, and k represents the number of network.

Fitness Function: To optimize the coverage problem of WSN and improve the coverage rate (C_r), this paper takes the coverage rate in the WSN coverage model as the objective function, sets the monitoring area as ϕ , and establishes the following optimization model.

$$\begin{cases} \max & C_r \\ & A_j \in \phi \\ & B_i \in \phi \end{cases} \quad (13)$$

$$Penalty = \text{the number of the uncoveredSensors} / n \quad (14)$$

$$\text{Minimize } cost = \left(\frac{1}{C_r}\right) + PenaltyCoef * Penalty \quad (15)$$

where PenaltyCoef is a fixed penalty value (PenaltyCoef=1).

To solve the optimization model and obtain optimal coverage, this paper introduces the OOA algorithm. The fitness function in the WSN optimization model is used as the fitness function of OOA, the monitoring area ϕ is used as the search range, and the current coordinate values of all n sensor nodes deployed in the monitoring area are used as the dimension values of osprey individuals. Therefore, each individual is a $2n$ -dimensional vector. The first n dimensions store the X-axis coordinates of all deployed nodes, and the last n dimensions store the Y-axis coordinates of all deployed nodes. Each individual in the population represents a node deployment scheme of WSN, and the optimal individual obtained by iterative solution is the best deployment scheme of the WSN. Figure 4 shows how an osprey candidate solution stores the coordinate information of n nodes.

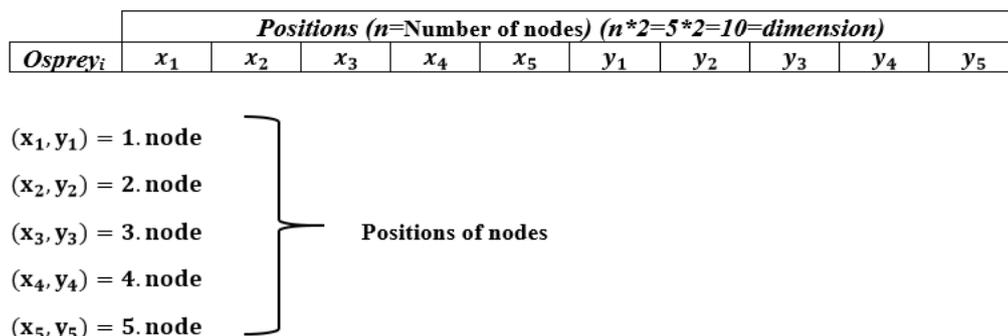


Figure 4. The osprey candidate solution example of storing coordinate information of n nodes for OOA

3. RESULTS AND DISCUSSION

This subsection demonstrates the application of OOA to the WSN coverage problem, and analyzes the test results. All applications were run on a machine with the computer specifications shown in Table 1. This ensures consistency of the results. Table 2 presents the

parameter settings used in all applications. In this study, five different numbers of the sensor nodes (20, 40, 60, 80, and 100) were distributed across three different monitoring areas (40m x 40m, 100m x 100m, 200m x 200m) using the OOA metaheuristic algorithm, and their coverage rates were analyzed. The results for the 40m x 40m monitoring area are presented in Table 3. According to Table 3, when 20 sensor nodes were randomly distributed within the 40m x 40m monitoring area, OOA failed to achieve optimal coverage even in 20 independent runs. However, when the best fitness values were examined, OOA found optimal positions for 20 sensor nodes within the 40m x 40m monitoring area, achieving full coverage. When sensor nodes were placed in the 40m x 40m monitoring area with numbers of 40, 60, 80, and 100, OOA achieved optimal coverage for each run value. The average operating time increases in direct proportion to the number of sensor nodes. Figure 5 shows the convergence curves of best fitness and coverage rate on 40m x 40m monitoring area for OOA (number of nodes=20). Figure 6 shows coverage map for 20 sensor nodes on 40m x 40m monitoring area. Figure 7 shows the optimal sensor placement on 40m x 40m monitoring area for different numbers of the sensor nodes (20, 40, 60, 80, and 100).

The results for the 100m x 100m monitoring area are presented in Table 4. According to Table 4, when 100 sensor nodes were randomly distributed in a 100m x 100m monitoring area, OOA achieved the best and average fitness values in 20 independent runs. As the number of sensor nodes decreased in the 100m x 100m monitoring area, the fitness value increased, i.e., the coverage ratio decreased. The average runtime increases in direct proportion to the number of sensor nodes. Figure 8 shows the coverage curves of the best fitness and coverage ratio in the 100m x 100m monitoring area for OOA (number of nodes = 20). Figure 9 shows the coverage map for 20 sensor nodes in the 100m x 100m monitoring area. Figure 10 shows the optimal sensor placement in the 100m x 100m monitoring area for different numbers of sensor nodes (20, 40, 60, 80 and 100).

The results for the 200m x 200m monitoring area are presented in Table 5. According to Table 5, when 100 sensor nodes were randomly distributed in a 100m x 100m monitoring area, OOA achieved the best and average fitness values in 20 independent runs. As the number of sensor nodes decreased in the 200m x 200m monitoring area, the fitness value increased, i.e., the coverage ratio decreased. The average runtime increases in direct proportion to the number of sensor nodes. Figure 11 shows the coverage curves of the best fitness and coverage ratio in the 100m x 100m monitoring area for OOA (number of nodes = 20). Figure 12 shows the coverage map for 20 sensor nodes in the 100m x 100m monitoring area. Figure 13 shows the optimal sensor placement in the 100m x 100m monitoring area for different numbers of sensor nodes (20, 40, 60, 80 and 100).

Table 1. PC features used in the application

Hardware		Software	
CPU	Core i5	Operating system	Windows 10 (64-bit)
Frequency	2.70 GHz	Language	MATLAB R2018B
RAM	8 GB		

Table 2. Parameter settings

Parameters	Values
Population size (<i>n_{pop}</i>)	40

The maximum number of iterations ($MaxIter$)	50
Dimension (N)	$2 * \text{Number of sensor nodes } (n)$
The number of run	20
Search space boundary (L_B, U_B)	[1, Monitoring area]
Monitoring area	40m x 40m; 100m x 100m; 200m x 200m
Number of grids	40 x 40; 100 x 100; 200 x 200;
Number of sensor nodes (n)	20, 40, 60, 80, 100
Node perception radius R_S (sensing radius)	10 m
Communication Radius (R_C)	20 m ($R_C \geq 2*R$)
PenaltyCoef	1

Table 3. The coverage results of different numbers of nodes in a 40m x 40m monitoring area

Monitoring Area	Number of Nodes	Best Fitness	Worst Fitness	Mean Fitness	STD Fitness	Mean Time
40m x 40m	20	1	1.003764	1.000251	0.000873	10.278111
40m x 40m	40	1	1	1	0	20.054541
40m x 40m	60	1	1	1	0	31.59831451
40m x 40m	80	1	1	1	0	48.70744818
40m x 40m	100	1	1	1	0	61.60300369

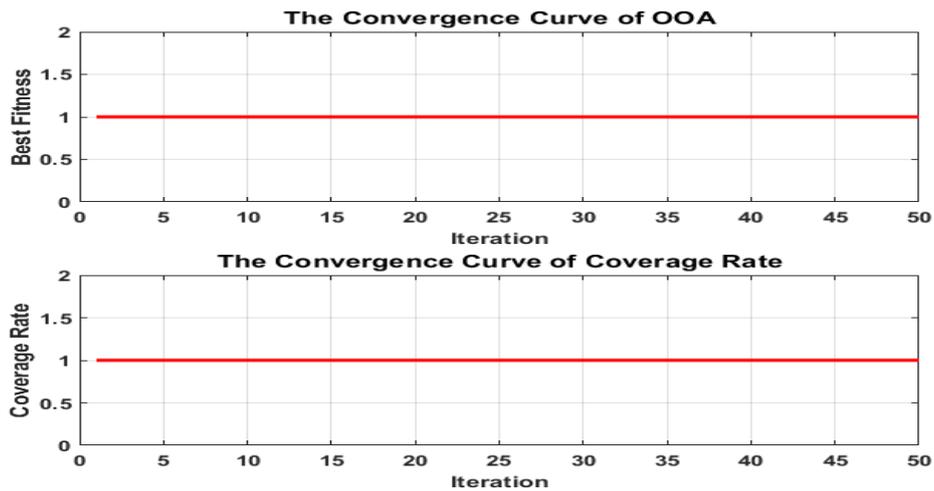


Figure 5. The convergence curves of best fitness and coverage rate for OOA on 40m x 40m monitoring area (number of sensor nodes=20)

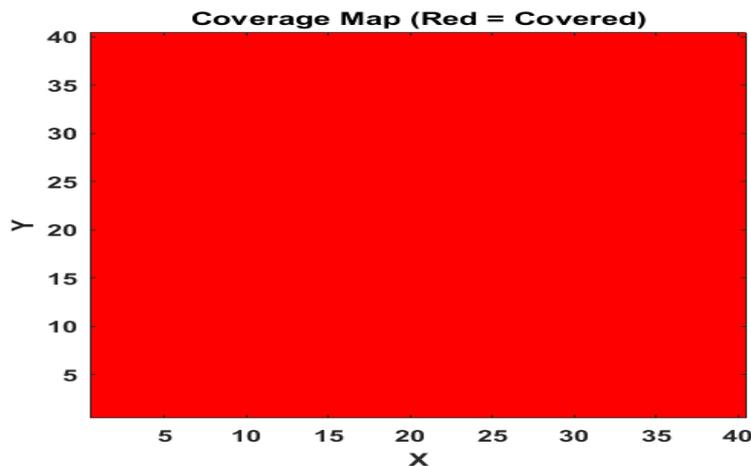


Figure 6. The coverage map on 40m x 40m monitoring area for number of sensor nodes=20

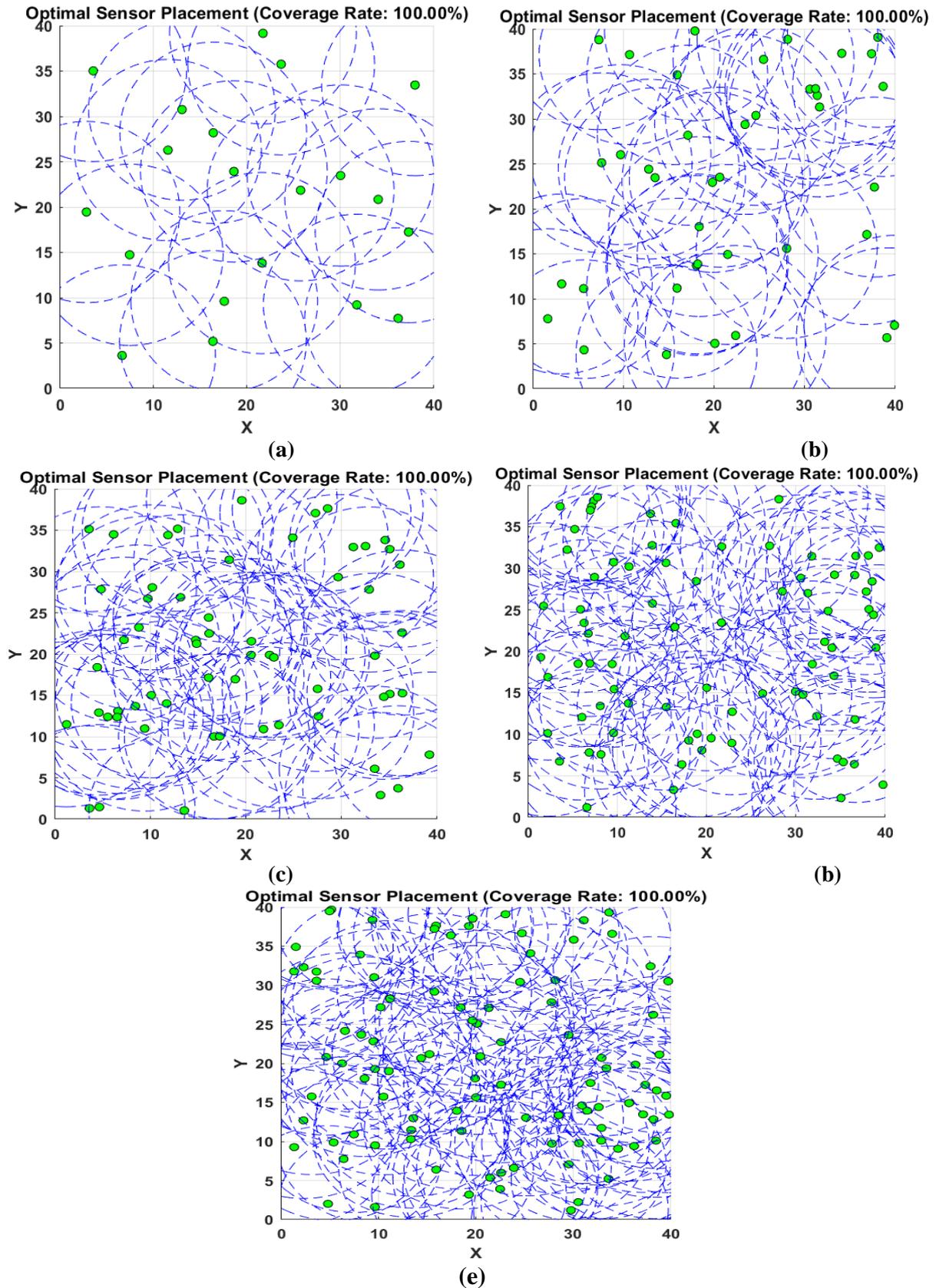


Figure 7. The optimal sensor placement on 40m x 40m monitoring area ((a) number of nodes=20, (b) number of nodes =40, (c) number of nodes =60, (d) number of nodes =80, (e) number of nodes =100)

Table 4. The coverage results of different numbers of nodes in a 100m x 100m monitoring area

Monitoring Area	Number of Nodes	Best Fitness	Worst Fitness	Mean Fitness	STD Fitness	Mean Time
100m x 100m	20	1.806358	2.028809	1.914311	0.059175	51.54286115
100m x 100m	40	1.240541	1.334401	1.280352	0.028520	98.500320385
100m x 100m	60	1.100715	1.144034	1.122771	0.012284	148.382733365
100m x 100m	80	1.039609	1.068262	1.053962	0.007787	198.179697215
100m x 100m	100	1.014405	1.041558	1.026578	0.007905	249.02239907

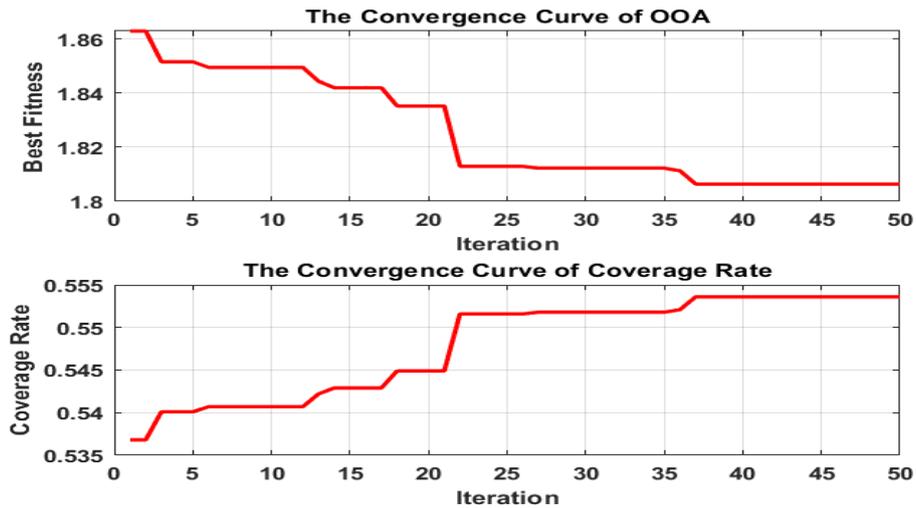


Figure 8. The coverage curves of best fitness and coverage rate for OOA on 100m x 100m monitoring area (number of sensor nodes=20)

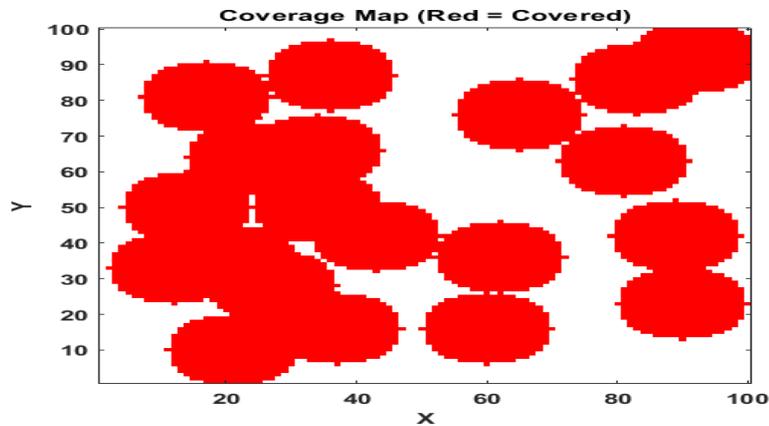


Figure 9. The coverage map on 100m x 100m monitoring area for number of sensor nodes=20

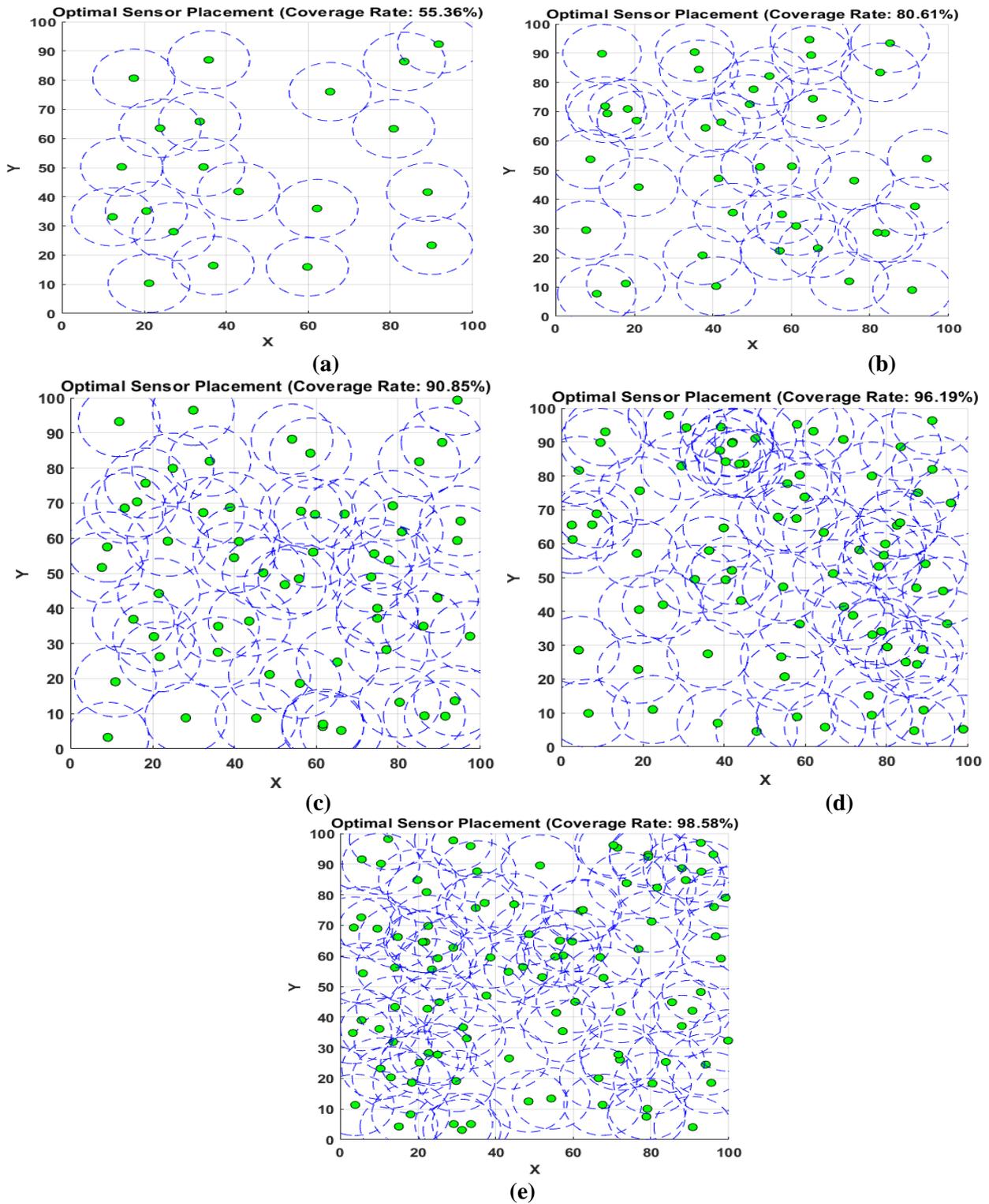


Figure 10. The optimal sensor placement on 100m x 100m monitoring area ((a) number of nodes=20, (b) number of nodes=40, (c) number of nodes=60, (d) number of nodes=80, (e) number of nodes=100)

Table 5. The coverage results of different numbers of nodes in a 200m x 200m monitoring area

Monitoring Area	Number of Nodes	Best Fitness	Worst Fitness	Mean Fitness	STD Fitness	Mean Time
200m x 200m	20	6.431621	6.807790	6.591364	0.101714	149.04636899
200m x 200m	40	3.418281	3.663696	3.533984	0.066720	337.972804775
200m x 200m	60	2.408153	2.586789	2.497236	0.054590	477.64098568
200m x 200m	80	1.944307	2.110421	2.027241	0.044716	577.568129315
200m x 200m	100	1.711010	1.774758	1.748310	0.019630	762.7194094

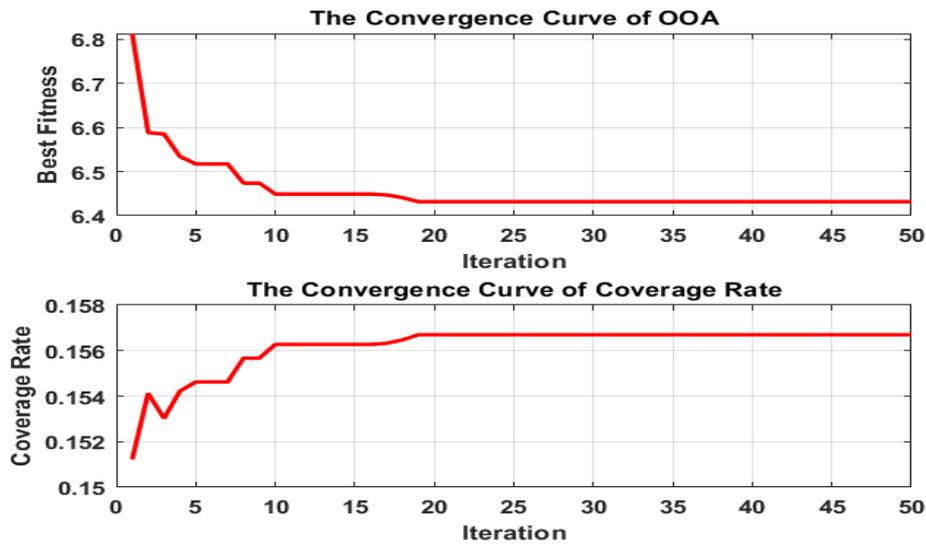


Figure 11. The convergence curves of best fitness and coverage rate for OOA on 200m x 200m monitoring area (number of sensor nodes=20)

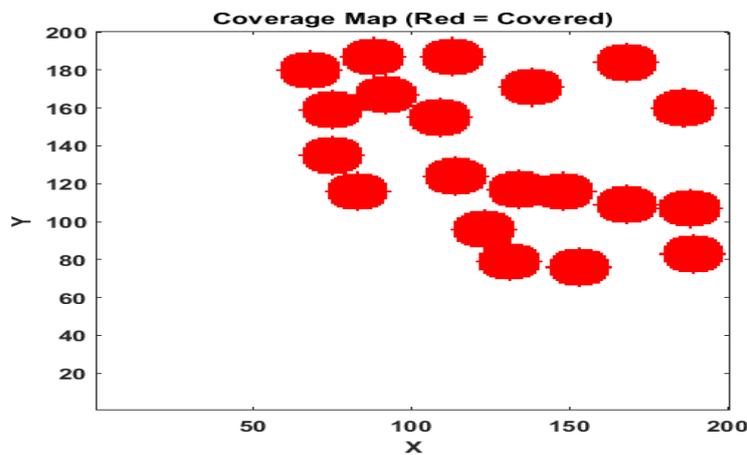


Figure 12. The coverage map on 200m x 200m monitoring area for number of sensor nodes=20

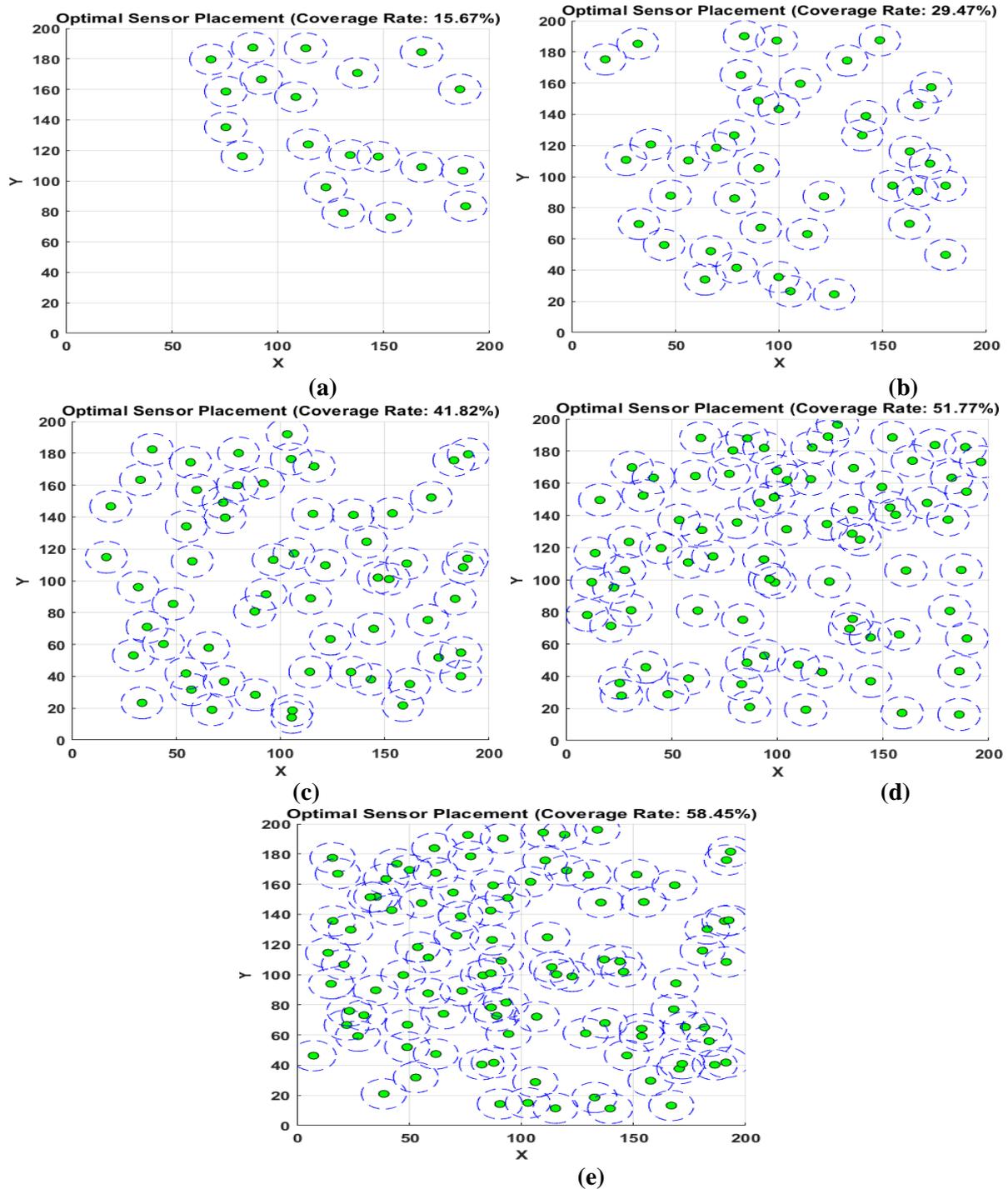


Figure 13. The optimal sensor placement on 200m x 200m monitoring area ((a) number of nodes=20, (b) number of nodes=40, (c) number of nodes=60, (d) number of nodes=80, (e) number of nodes=100)

4. CONCLUSIONS

In this study, the Osprey Optimization Algorithm (OOA) was used to solve the WSN coverage optimization problem. This study presented the success of OOA on the WSP coverage optimization problem to researchers for the first time in the literature. Five different sensor nodes (20, 40, 60, 80, and 100) were randomly placed in three different monitoring areas (40m x 40m, 100m x 100m, and 200m x 200m). Sensor nodes must be placed correctly to achieve maximum coverage in the monitoring area. This study attempted to determine the correct

positions of sensor nodes in the monitoring area using the OOA metaheuristic algorithm. A fitness function based on the penalty value was used as the objective function in OOA. The goal was to maximize coverage while minimizing the fitness function. The obtained results were supported with graphics and shared with the readers. According to the results, 20 sensor nodes achieved sufficient coverage in the 40m x 40m monitoring area. There is no need to place more sensor nodes in the 40m x 40m monitoring area. In the 100m x 100m monitoring area, the best coverage was achieved with 100 sensor nodes. However, even 100 sensor nodes could not cover a 100% coverage map. A similar situation applies to the 200m x 200m monitoring area. Future studies will examine the OOA's random distribution mechanism for the initial population to ensure a more consistent distribution of sensor nodes. This is expected to increase the coverage rate.

REFERENCES

- Ali, N. H., & Özdağ, R. (2022). Coverage analysis and a new metaheuristic approach using the Elfes Probabilistic detection model in Wireless sensor networks. *Measurement*, *200*, 111627.
- Balaji, S., Anitha, M., Rekha, D., & Arivudainambi, D. (2020). Energy efficient target coverage for a wireless sensor network. *Measurement*, *165*, 108167.
- Dehghani, M., & Trojovský, P. (2023). Osprey optimization algorithm: A new bio-inspired metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems. *Frontiers in Mechanical Engineering*, *8*, 1126450.
- Grove, R. A., Henny, C. J., and Kaiser, J. L. (2009). Osprey: Worldwide sentinel species for assessing and monitoring environmental contamination in rivers, lakes, reservoirs, and estuaries. *J. Toxicol. Environ. Health, Part B* *12* (1), 25–44. doi:10.1080/10937400802545078.
- Khan, T. F., & Kumar, D. S. (2020). Ambient crop field monitoring for improving context based agricultural by mobile sink in WSN. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *11*(4), 1431-1439.
- Li, Y., Zhao, L., Wang, Y., & Wen, Q. (2024). Improved sand cat swarm optimization algorithm for enhancing coverage of wireless sensor networks. *Measurement*, *233*, 114649.
- Ou, Y., Qin, F., Zhou, K. Q., Yin, P. F., Mo, L. P., & Mohd Zain, A. (2024). An improved grey wolf optimizer with multi-strategies coverage in wireless sensor networks. *Symmetry*, *16*(3), 286.
- Poole, A. F., Bierregaard, R. O., and Martell, M. S. (2002). Osprey: *Pandion Haliaetus*. Philadelphia, PA: Birds of North America, Incorporated, No. 683.
- Song, J., Hu, Y., & Luo, Y. (2024). Wireless sensor network coverage optimization based on the novel enhanced hunter-prey optimization algorithm. *IEEE Sensors Journal*.
- Zhong, R., Fan, Q., Zhang, C., & Yu, J. (2024). Hybrid remora crayfish optimization for engineering and wireless sensor network coverage optimization. *Cluster Computing*, *27*(7), 10141-10168.

A HYPERPARAMETER OPTIMIZATION WITH REINFORCEMENT OPTIMIZER ALGORITHM (PRO) ON FASHION-MNIST CLASSIFICATION

Assoc. Prof. Dr. Emine BAŞ^{1}*

¹ Department of Software Engineering, Faculty of Computer and Information Sciences, Konya Technical University, Türkiye, ebas@ktun.tr- <https://orcid.org/0000-0003-4322-6010>

Abstract: Convolutional Neural Network (CNN) has become popular in recent years due to their success in image classification. A CNN model has multiple layers, namely a convolutional layer, a pooling layer, and a fully connected layer. The success of a CNN model depends on the correct architectural structure and the correct selection of hyperparameters given as inputs to this architectural structure. In the literature, hypervariables are generally found specifically for each CNN model through trial and error. This process is the most challenging. In this study, five different CNN models were proposed. These models were tested on the Fashion-MNIST dataset, a complex image dataset. The hyperparameters of CNN models are estimated using the recently proposed Partial Reinforcement Optimizer (PRO) metaheuristic algorithm. The PRO algorithm has been transformed into a six-dimensional discrete metaheuristic algorithm. Each population member is fed six different hyperparameters (channel size, kernel size, batch size, learning rate, optimizer type, and number of epochs) into the CNN and tested. This way, the most successful population member is identified. This individual stores the hyperparameter values at which the CNN model performs best. As a result of this study, five different CNN models were identified using the PRO metaheuristic algorithm, and their hyperparameters were determined. When the results were compared with the literature, the CNN models optimized with PRO do not achieve the highest accuracy value, but they achieve results that are competitive with the literature.

Keywords: Fashion-MNIST, CNN, PRO, Hiper parameters

5. INTRODUCTION

Deep learning models like Convolutional Neural Network (CNN) have gained significant importance due to their success in image classification. O'Shea and Nash (2015) defined CNN as an artificial neural network composed of neurons that self-optimize through learning. CNN has multiple layers: a convolutional layer, a pooling layer, and a fully connected layer (O'Shea and Nash, 2015). The success of a CNN model depends on the structure of the CNN model and the selection of the correct hyperparameters. Hyperparameters are fine-tuning elements that exist external to the CNN model but can significantly affect the behavior and performance of the CNN model. The selection of the correct hyperparameter is highly dependent on this fine-tuning. Image classification is the process of classifying images based on various features such

as texture, size, color, and so on. Deep neural networks such as CNNs have become popular for image classification. These deep neural network models allow for extracting features from a trained neural network layer and training the model by digitally mapping the extracted features. This study examined the Fashion-MNIST image set. Fashion-MNIST is a fashion product image dataset consisting of 60000 training sets and 10000 test sets containing 10 categories of 28x28 grayscale images. The Fashion-MNIST dataset was first introduced to the literature by Zalando Research (Xiao et al., 2017). Fashion-MNIST was proposed as a direct replacement for the classic MNIST handwritten digit dataset, which is considered a benchmark for machine learning techniques, because it contains the same structure, image format, and the size of the training and test set partitions (Greeshma and Sreekumar, 2019).

There are numerous studies in the literature on the Fashion-MNIST dataset using CNN deep networks. Greeshma and Sreekumar (2019) studied the impact of various hyperparameter optimization methods and deep neural network regularization techniques on the Fashion-MNIST dataset. They proposed deep ConvNet architectures with data augmentation and analyzed the impact of configuring hyperparameters and regularization methods in detail (Greeshma and Sreekumar, 2019). Kadam et al. (2020) presented five different CNN model architectures with different convolutional layers, filter sizes, and fully connected layers on the MNIST and Fashion datasets. They analyzed various CNN hyperparameters: activation function, optimizer, learning rate, dropout rate, and cluster size (Kadam et al., 2020). Manessi and Rozza (2018) presented two approaches, namely, identity function, ReLU, and tanh, to test the performance of different combinations of the basic activation function. The proposed approaches were compared with well-known architectures such as LeNet-5, AlexNet, and ResNet-56 using Fashion-MNIST, CIFAR-10, and ILSVRC-2012 (Manessi and Rozza, 2018). Zhang classified the Fashion-MNIST dataset using RNN. Their proposed model was developed using the Long-Short-Term Memory technique to mitigate the risk of gradient loss in traditional RNN faces (Zhang, 2018). Xiao et al. (2017) tested the SVC classifier on the FashionMNIST dataset and the MNIST dataset (Xiao et al., 2017). Bhatnagar et al. (2017) proposed three different CNN architectures to decode the Fashion-MNIST dataset. The authors achieved 92.54% accuracy using a two-layer CNN with batch normalization and skip connections (Bhatnagar et al., 2017).

The aim of this paper is to test the performance of a CNN model (CNN_1, CNN_2, CNN_3, CNN_4, and CNN_5) with five different hyperparameters for image classification on the Fashion-MNIST dataset. When determining CNN hyperparameter values, attempts are typically made in the literature through trial and error or by analyzing each value individually. In this study, inspired by the success of metaheuristic algorithms in solving optimization problems, six different CNN hyperparameters (channel size, kernel size, batch size, learning rate, optimizer type, and number of epochs) were placed discretely across the metaheuristic algorithm dimensions to determine the highest-performing parameter values. This process was repeated for five different CNN architectures. The Partial Reinforcement Optimizer (PRO) algorithm, recently proposed in the literature, was chosen as the metaheuristic algorithm (Taheri et al., 2024). PRO was first recommended by Taheri et al., in 2024. PRO is inspired by the partial reinforcement effect (PRE) theory, a psychological theory in evolutionary learning and education. PRE theory was revealed by Ferster and Skinner in 1957 (Ferster and Skinner, 1957). According to PRE theory, a learner receives intermittent reinforcement to learn or reinforce a

particular behavior during the learning and training process. Reinforcement patterns have a significant impact on the learner's response rate and strength and are achieved by choosing an appropriate reinforcement behavior and application time of the reinforcement process. PRO was chosen because it is a recently proposed metaheuristic algorithm. Furthermore, it has never been used in the literature to determine CNN hyperparameters on Fashion-MNIST dataset.

6. MATERIALS AND METHODS

6.1. Partial Reinforcement Optimizer (PRO) algorithm

The PRO algorithm was introduced by Taheri et al. in 2024 (Taheri et al., 2024). Partial reinforcement optimizer: An evolutionary optimization algorithm, the partial reinforcement effect, a psychological theory in evolutionary learning and education. It is inspired by the partial reinforcement effect (PRE) theory, a psychological theory in evolutionary learning and education. PRE theory was revealed by Ferster and Skinner in 1957 (Ferster and Skinner, 1957). According to PRE theory, a learner receives intermittent reinforcement to learn or reinforce a particular behavior during the learning and training process. Reinforcement patterns have a significant impact on the learner's response rate and strength and are achieved by choosing an appropriate reinforcement behavior and application time of the reinforcement process.

Algorithm and mathematical model of PRO:

An optimization algorithm of PRE theory is modeled by mapping the rules of PRE theory to the components of PRO algorithm. These components are as follows:

- **Learner:** An entity that adapts its behavior in response to reinforcement. It is the person or animal whose behavior needs to be trained/developed using PRE theory in the algorithm and is modeled as a solution (Taheri et al., 2024).

- **Behavior:** Actions that are structured and subject to structure by the learner. The learner's behavior is treated as a decision variable solution. Figure 1 shows a sample solution sequence decision values (Taheri et al., 2024).

	<i>Behaviors</i>									
<i>Learner_i</i>	4.7	3.4	2.7	1.4	0.7	5.3	4.1	2.5	1.9	7.3

Figure 1. Sample solution sequence decision values.

- **Population:** A group of learners constitutes a population. Each row in Figure 2 represents a solution (learner) and each element X_i^N represents a decision variable (behavior).

Learner₁	X_1^1	X_1^2	X_1^3	...	X_1^N
Learner₂	X_2^1	X_2^2	X_2^3	...	X_2^N
Learner₃	X_3^1	X_3^2	X_3^3	...	X_3^N
Learner_{nPop}	X_{nPop}^1	X_{nPop}^2	X_{nPop}^3	...	X_{nPop}^N

} **Population**

Figure 2. Representation of the population (Taheri et al., 2024).

- **Fitness (objective-function) evaluation:** The fitness of behaviors for each learner X_i is calculated using a user-defined objective function $f x_i \leftarrow F(X_i)$ on the decision variables (behaviors) $\{X_i^1, X_i^2, X_i^3, \dots, X_i^N\}$.
- **Time (Interval):** The number of repetitions between two stimulation, evaluation or reinforcement phases that determine the decision variables (behaviors) of the learner during the search process is considered a time interval (Taheri et al., 2024).
- **Response:** In this study, response is defined as a successful improvement in the target function value. In the case of $F(X') < F(X)$, $F(X')$ and $F(X)$ represent the current and previous objective function values of a particular solution after the excitation phase, respectively (Taheri et al., 2024).
- **Reschedule:** Adjustment of reinforcement programs according to student performance. The concept of the program indicates how and when behaviors should be reinforced. As shown in Figure 3, each learner has a specific program. Each learner's behavior is scored. It shows the probability of selecting the behavior at each iteration. This is shown in equations 1-3. How and when the behavior should be reinforced is a variable and is updated throughout the search process (Taheri et al., 2024).

Schedule₁	0.3	0.7	0.1	0.2	0.8	0.4	0.5	0.9	0.1	0.6
Schedule₂	0.5	0.4	0.2	0.3	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
Schedule₃	0.7	0.6	0.8	0.1	0.2	0.4	0.3	0.8	0.7	0.6
.
Schedule_{nPop}	0.9	0.6	0.3	0.5	0.4	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2

Figure 3. Representation of a learner (solution) and behaviors (decision variables) (Taheri et al., 2024).

$$\tau = \frac{FEs}{MaxFEs} \quad (1)$$

$$SR \leftarrow e^{-(1-\tau)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu &\subseteq \{1, 2, 3, \dots, N\} \mid \forall_j \in \mu, \text{Schedule}^j \geq \text{Schedule}^{*,\lambda}, \\ \lambda &\leftarrow \{\|\mu\| \mid \|\mu\| = \lceil U(1, N \times SR) \rceil\} \end{aligned} \quad (3)$$

where, τ is the time factor, FEs is the number of function evaluations, and $MaxFEs$ is the maximum number of function evaluations. Also, SR is the selection rate, μ is a subset of behaviors selected based on scheduling, λ is the size of selected subset, and N is the total

number of behaviors (decision variables). $Schedule^*$ denotes the schedule with sorted priorities and $Schedule^{*,\lambda}$ is the λ^{th} item in the $Schedule^*$.

- **Stimulation:** The attempt to stimulate a student's behavior to elicit a response is modeled by applying operations that change the decision variables of a proposed solution. In the PRO algorithm, new solutions are generated using Equations (4)–(6) (Taheri et al., 2024).

$$SF_i \leftarrow \tau + U(0, \bar{\beta}), \text{ where } \bar{\beta} \leftarrow \sum_{j \in \mu} \left(\frac{Schedule_{i,j}}{\text{Max}(Schedule_i)} \right) \quad (4)$$

$$S_i^\mu \leftarrow \begin{cases} (X_{best}^\mu - X_i^\mu) & \text{If } rand < 0.5 \\ (X_i^\mu - X_j^\mu) & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$X_{i,new}^\mu \leftarrow X_i^\mu + SF_i \times S_i^\mu \quad (6)$$

where, SF_i is the stimulation factor and $\bar{\beta}$ is the mean of a normalized score/priority of the selected decision variables for i^{th} learner based on its scheduler.

- **Reinforcement:** Conceptualizing reinforcement means updating the scheduling. Positive reinforcement is applied to increase the score of a certain behavior. It is done with Equation (7) (Taheri et al., 2024).

$$Schedule_i^\mu \leftarrow Schedule_i^\mu + (Schedule_i^\mu \times RR) \quad (7)$$

where, RR is the reinforcement rate, $Schedule_i^\mu$ represents priorities of the selected decision variables (behaviors) for the i^{th} solution (learner).

When there is no response, negative reinforcement is applied. In this case, a student's objective function decreases after the stimulation phase, resulting in a decrease in the score for the particular behavior. This is expressed by Equation (8). Decision variables (behaviors) with higher scores will be selected for stimulation and reinforcement in the next iteration (Taheri et al., 2024).

$$Schedule_i^\mu \leftarrow Schedule_i^\mu - (Schedule_i^\mu \times RR) \quad (8)$$

-**Rescheduling:** This determines when to update the process of implementing a new program for a learner during training. PRO uses the standard deviation (Std) of the program as a criterion to determine when the student needs to be reprogrammed. This mechanism is implemented using Equations (9) and (10) (Taheri et al., 2024).

$$Schedule_i \leftarrow \begin{cases} U(0,1) & \text{If } Std(Schedule_i) = 0 \\ \text{Do nothing} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$X_i \leftarrow \begin{cases} U(L_B, U_B) & \text{If } Std(Schedule_i) = 0 \\ Do\ nothing & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

where $Std(Schedule_i)$ is the standard deviation of the schedule of i th learner, L_B and U_B are the lower bound and upper bound, respectively. Also, $U(0,1)$ and $U(L_B, U_B)$ refer to random values with uniform distribution between $(0,1)$ and (L_B, U_B) .

The pseudo-code of PRO is shown in Algorithm 1 (Taheri et al., 2024).

Algorithm 1: The PRO Algorithm (Taheri et al., 2024)

```

1: Initialization:
2:   Initialize Population and Schedules
3:   Set  $FES$ ,  $MaxFES$ ,  $SF$ ,  $RR$ ,  $SR$ 
4:   While ( $FES \leq MaxFES$ ) Do
5:     For  $i=1$  To  $nPop$  Do
6:       Calculate time parameter based on Eq. (1).
7:       Calculate selection rate ( $SR$ ) based on Eq. (2).
8:       Select  $\lambda$  number of behaviors with highest priority in  $Schedule_i$  based on Eq. (3).
9:       Stimulate the selected behaviors of the  $i^{th}$  learner to get response based on Eqs. (4) –(6).
10:      Update Beta and  $SF$  according to Eqs. (4) – (5).
11:      Calculate  $X_{i,new}^\mu$  according to Eq. (6).
12:      Apply bound constraints
13:      Evaluate the  $i^{th}$  learner response ( $f_x' \leftarrow F(X_{i,new})$ )
14:      Apply positive or negative reinforcement according to the response.
15:      If ( $f_x'$  is better than  $f_x$ ) Then
16:        Accept new behavior  $X_{i,new}^\mu$ 
17:        Apply positive reinforcement based on Eq. (7).
18:      Else
19:        Reject new behavior  $X_{i,new}^\mu$ 
20:        Apply negative reinforcement based on Eq. (8).
21:      End If
22:      Update the best solution ( $X_{best}$ )
23:      Conduct rescheduling process according to Eqs. (9) - (10)
24:       $FES = FES + 1$ 
25:     End For
26:   End While
27:   Return The best solution ( $X_{best}$ )

```

6.2. The Fashion-MNIST datasets

In this study, different CNN architectures were tested on the Fashion-MNIST dataset. The Fashion-MNIST dataset is a dataset of article images from Zalando. It consists of a training set of 60000 examples and a test set of 10000 examples. Each example is a 28x28 grayscale image associated with a label from one of 10 classes. This dataset consists of 10 fashion item classes such as T-shirt/Top, Trouser, Pullover, Dress, Coat, Sandals, Shirt, Sneaker, Bag, Ankle boots (Greeshma and Sreekumar, 2019). Zalando intends Fashion-MNIST to be a direct replacement for the original MNIST dataset for benchmarking machine learning algorithms. Each image is

28 pixels high and 28 pixels wide, for a total of 784 pixels. Each pixel has a single pixel value associated with it that indicates the lightness or darkness of that pixel; higher numbers mean darker. This pixel value is an integer between 0 and 255. There are 785 columns in the training and test datasets. The first column consists of the class labels (see above) and represents the clothing item. Other columns contain the pixel values of the relevant image (<https://www.kaggle.com>). Table 1 shows the label definition in Fashion-MNIST dataset and Figure 4 shows some examples of Fashion-MNIST dataset.

Table 1. The Label definition in Fashion-MNIST dataset (<https://www.kaggle.com>)

Labels	Each training and test example is assigned to one of the following labels
0	T-shirt/top
1	Trouser
2	Pullover
3	Dress
4	Coat
5	Sandal
6	Shirt
7	Sneaker
8	Bag
9	Ankle boot

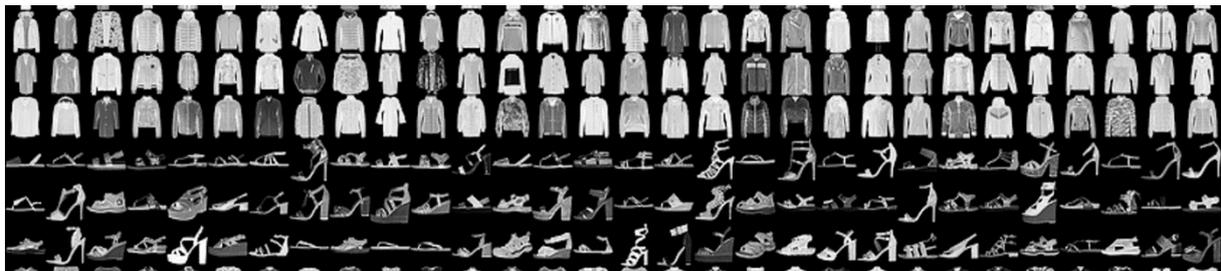


Figure 4. Some examples of Fashion-MNIST dataset

(<https://www.kaggle.com/datasets/zalando-research/fashionmnist/data> or
<https://github.com/zaladoresearch/fashion-mnist>)

6.3. Convolutional Neural Networks (CNNs)

Although various deep learning architectures have been proposed in the literature, CNN architectures are frequently preferred by many researchers due to their performance in image recognition. A CNN is an Artificial Neural Network (ANN) with a multilayer architecture. A CNN is a special case of an ANN and contains at least one convolutional layer. In a simple CNN, image data is taken from an input layer, passed through convolution, nonlinear activation, pooling (downsampling), and fully connected layers, and produced an output consisting of classification labels (Greeshma and Sreekumar, 2019). The output of this CNN layer is an activation map. Five different CNN architectures were proposed in this study and tested on the Fashion-MNIST dataset. Details of the five proposed CNN architectures are presented in Table 2. Figure 5 shows a CNN_3 architectural structure for Fashion-MNIST dataset classification.

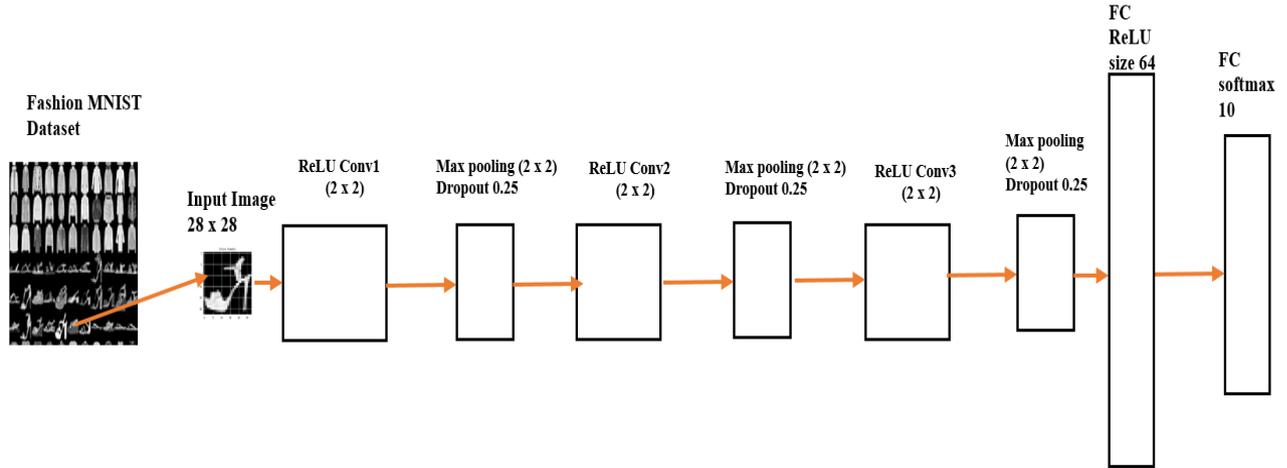


Figure 5. CNN_3 architectural structure for Fashion-MNIST dataset classification

Table 2. The Proposed CNN architectural structures

CNN architectural structures				
CNN_1	CNN_2	CNN_3	CNN_4	CNN_5
2 convolutional layers with (3 x 3) filter size and 1 fully connected layers	2 convolutional layers with (9 x 9) filter size and 1 fully connected layers	3 convolutional layers with (2 x 2) filter size and 1 fully connected layers	3 convolutional layers with (3 x 3) filter size and 2 fully connected layers	3 convolutional layers with (9 x 9) filter size and 3 fully connected layers
(1) INPUT:28×28×1 (2) FC:10 Output Classes	(1) INPUT:28×28×1 (2) FC:10 Output Classes	(1) INPUT:28×28×1 (2) FC:10 Output Classes	(1) INPUT:28×28×1 (2) FC:10 Output Classes	(1) INPUT:28×28×1 (2) FC:10 Output Classes
(3) CONV2D : 3×3 size, 64 filters (4) POOL:2×2 size (5) CONV2D : 3×3 size, 64 filters (6) POOL:2×2 size (7) FC: 120 Hidden Neurons	(3) CONV2D : 9×9 size, 8 filters (4) POOL:2×2 size (5) CONV2D : 9×9 size, 8 filters (6) POOL:2×2 size (7) FC: 120 Hidden Neurons	(3) CONV2D: 2×2 size, 64 filters (4) POOL:2×2 size (5) DROPOUT: = 0.25 (6) CONV2D:2×2 size, 64 filters (7) POOL:2×2 size (8) DROPOUT : = 0.25 (9) CONV2D : 2×2 size, 64 filters (10) DROPOUT: = 0.25 (11) FC:64 Hidden Neurons	(3) CONV2D : 3×3 size, 64 filters (4) POOL: 2×2 size (5) DROPOUT: = 0.25 (6) CONV2D : 3×3 size, 64 filters (7) POOL:2×2 size (8) DROPOUT: = 0.25 (9) CONV2D : 3×3 size, 64 filters (10) POOL: 2×2 size (11)	(3) CONV2D : 9×9 size, 32 filters (4) POOL: 2×2 size (5) DROPOUT: = 0.25 (6) CONV2D : 9×9 size, 32 filters (7) POOL:2×2 size (8) DROPOUT: = 0.25 (9) CONV2D : 9×9 size, 32 filters (10) POOL: 2×2 size (11)

		(12) DROPOUT: = 0.25	DROPOUT: = 0.25 (12) FC:220 Hidden Neurons (13) DROPOUT: = 0.25 (14) FC:220 Hidden Neurons (15) DROPOUT: = 0.25	DROPOUT: = 0.25 (12) FC:120 Hidden Neurons (13) DROPOUT: = 0.25 (14) FC:80 Hidden Neurons (15) DROPOUT: = 0.25 (16) FC:40 Hidden Neurons (17) DROPOUT: = 0.25
--	--	-------------------------	--	--

6.4. Hyperparameter Tuning

In this study, the values of some hiper parameters used in the CNN architecture were adjusted. The PRO metaheuristic algorithm was utilized in this adjustment. Six-dimensional PRO candidate solutions were generated for six different CNN hyperparameters, and the hyperparameters that yielded the best CNN accuracy were optimized. The CNN hyperparameters optimized in this study are as follows:

- 1- *Channel size*: The number of channels in the convolution layer in CNN networks is another hyperparameter optimized by the PRO metaheuristic algorithm. The number of channels is optimized among the {8, 16, 32, 64} cluster values.
- 2- *Kernel size*: The number of kernels in the convolution layer of CNN networks is another hyperparameter optimized with the PRO metaheuristic algorithm. The number of channels is optimized among the {1, 2, 3, 5, 7, 9} cluster values.
- 3- *Batch size*: Mini-batch sizes are generally preferred during the learning process in CNN models. In this study, the PRO metaheuristic algorithm optimized the values {16, 32, 64, 100, 128, 140, 150, 160, 200, 256} in the range of 16 to 256. The CNN deep network model is sensitive to group size.
- 4- *Learning rate*: The learning rate is optimized with the PRO metaheuristic algorithm at any random value between 0.001 and 0.05 in all CNN architectures.
- 5- *Optimizers*: Optimizers are among the most important hyperparameters in CNN architectures, helping us minimize or maximize the objective function. Using the right optimizer in a CNN model has a significant impact on the CNN's success. In this study, three types of optimizers were optimized using the PRO metaheuristic algorithm: {sgdm, adam, and rmsprop}.
- 6- *Number of Epochs*: Another hyperparameter optimized by the PRO metaheuristic algorithm is the epoch count. The epoch count is the number of complete passes through the entire training set. In this study, the epoch count values were optimized using {5, 10, 15, 20, 50, 60, 100}.

6.5. Determination of the most successful hyperparameter settings used in the classification of the Fashion MNIST dataset by the CNN model with the PRO Metaheuristic algorithm

A six-dimensional population with five candidate solutions ($n_{pop} = 5$) is generated using the discrete PRO metaheuristic algorithm ($N=6$). Each population individual stores the hyperparameter settings of the CNN model. Each PRO population individual is fed into the CNN model, and the testing accuracy value is calculated. The PRO algorithm stores these values in the fitness function vector and selects the highest testing accuracy value as the best. The best population individual is stored as the individual that best performs the CNN model. This process is repeated for each FEs in the cycle, and when the $MaxFEs$ value is reached, the global best solution (X_{best}) containing the best parameter values is returned. This situation is illustrated in Figure 6.

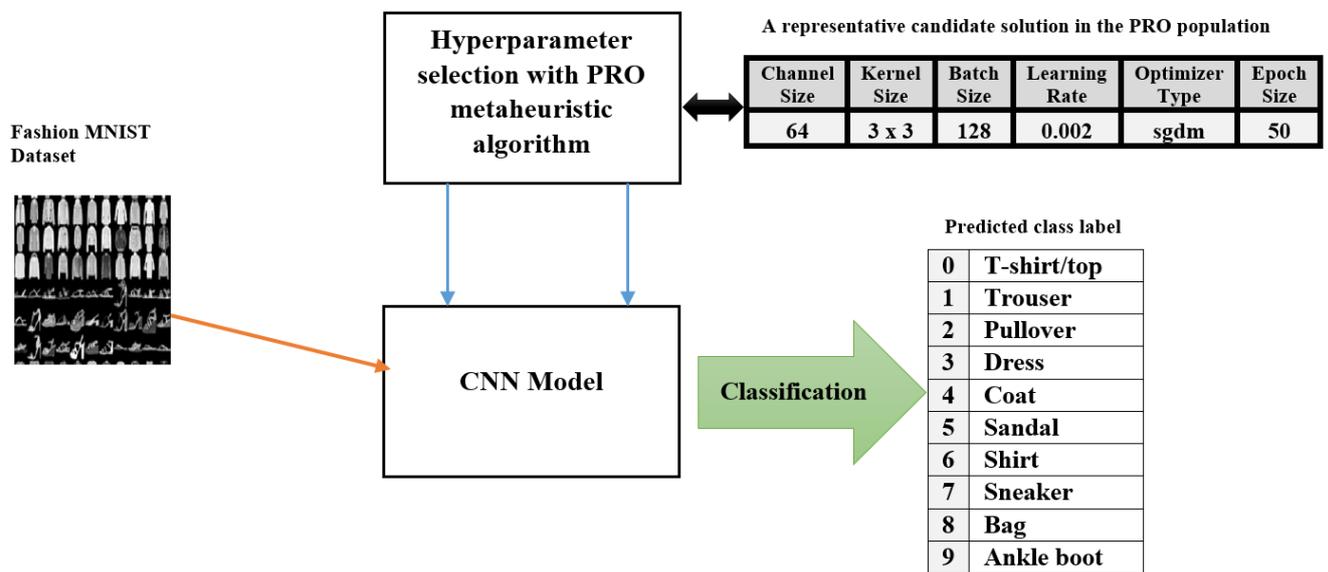


Figure 6. Estimation model of hyperparameters of CNN model with PRO Metaheuristic algorithm

7. RESULTS AND DISCUSSION

In this subsection, the performance of five different CNN models in classifying the Fashion-MNIST image data is examined. To ensure a fair comparison environment for all applications, a machine with the features shown in Table 3 was selected. The parameter settings shown in Table 4 are common to all CNN models. When examining CNN models, CNN_4 and CNN_5 have a higher number of layers and a more complex architecture. CNN_1 and CNN_2 have a lower number of layers and a simpler architecture. Designing CNN models in this way allows us to measure the impact of increasing or decreasing the number of layers, as well as varying the values of the number of neurons, on performance. This allows us to better monitor the impact of deep networks in CNN architectures on performance.

Table 5 presents the best hyperparameter settings obtained for each CNN model. Examining Table 5, it is observed that all CNN models generally perform best at a learning rate of 0.002. Additionally, the "adam" and "sgdm" optimizers are also observed to provide high performance. Epoch numbers of 20 or more generally provide sufficient success.

Table 6 shows the accuracy, precision, recall, and F1-score results for all CNN models on training and testing data. According to the accuracy results, CNN_5 achieved the highest accuracy on both testing and training data. When the precision results were examined, CNN_3 achieved the best results on both testing and training data. When the recall results were examined, CNN_3 achieved the best results on testing data and CNN_5 on training data. When the F1-score results were examined, CNN_4 achieved the best results on testing data and CNN_5 on training data.

Confusion matrix graphs supporting the success of CNN models on both testing data and train data are shown in Figures 7-11.

Table 7 compares the results of the proposed CNN models with the accuracy results of algorithms selected from the literature for classifying the Fashion-MNIST dataset. The results show that the architectures proposed by Kadam et al. (2020) provide higher classification accuracy for both the testing accuracy and training accuracy of the Fashion-MNIST dataset. The proposed CNN models outperformed those of Xiao et al. (2017), Zhang (2018), and Agarap (2018) based on testing data accuracy. In other words, the CNN_5 model achieved better testing accuracy results. Unfortunately, because Xiao et al. (2017), Zhang (2018), and Agarap (2018) did not share their accuracy results on the training data in their paper, the training accuracy results of the proposed CNN models could not be compared with these authors.

To summarize, the proposed CNN models' classification success on a complex dataset like Fashion-MNIST has been enhanced by the PRO metaheuristic algorithm, which has enhanced their usability. By optimizing hyperparameters with the PRO metaheuristic algorithm, additional time-consuming hyperparameter analyses for CNN models are no longer necessary.

Table 3. PC specifications

Name	Detailed settings
Hardware	
CPU	Core i5
Frequency	2.70 GHz
RAM	8 GB
Software	
Operating system	Windows 10 (64-bit)
Language	MATLAB R2018B

Table 4. Parameter settings

Parameters	Values
Population size (n_{pop})	5
The maximum number of iterations ($MaxFEs$)	5
Dimension (N)	6 (The number of the hiper parameters) [channel size, kernel size, batch size, learning rate, optimizer type, epoch size]
RR value	0.7 (Taheri et al., 2024)
The number of run	1
Search space boundary (L_B, U_B)	$L_B = [8, 1, 16, 0.001, 'sgdm', 5]$ $U_B = [64, 9, 256, 0.05, 'adam', 100]$

Table 5. CNN Hiper Parameter settings

Proposed CNNs	Hiper Parameters	Channel Number	Kernel Size	Batch Size	Learning Rate	Optimizer Type	Epoch Size
CNN_1	Values	64	3 x 3	64	0.011316	sgdm	5
CNN_2		8	9 x 9	16	0.004105	adam	20
CNN_3		64	2 x 2	160	0.002	rmsprop	60
CNN_4		64	3 x 3	256	0.002	adam	60
CNN_5		32	9 x 9	16	0.002053	adam	20

Table 6. The results on Fashion-MNIST dataset

Datasets	Proposed CNNs	Verification data type	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Fashion-MNIST	CNN_1	Testing data	0.88 (88 %)	0.975248	0.985	0.9801
		Training data	0.89 (89 %)	0.982012	0.9827	0.9823
	CNN_2	Testing data	0.8758 (87.58%)	0.985859	0.976	0.9809
		Training data	0.8786 (87.86%)	0.97586	0.9837	0.9798
	CNN_3	Testing data	0.8831 (88.31%)	0.99187	0.976	0.9839
		Training data	0.8983 (89.83%)	0.99239	0.9782	0.9852
	CNN_4	Testing data	0.8953 (89.53%)	0.98995	0.985	0.9875
		Training data	0.903817 (90.38%)	0.985191	0.986833	0.9860
	CNN_5	Testing data	0.898 (89.80%)	0.98794	0.983	0.98546
		Training data	0.911267 (91.13%)	0.98933	0.989	0.989165

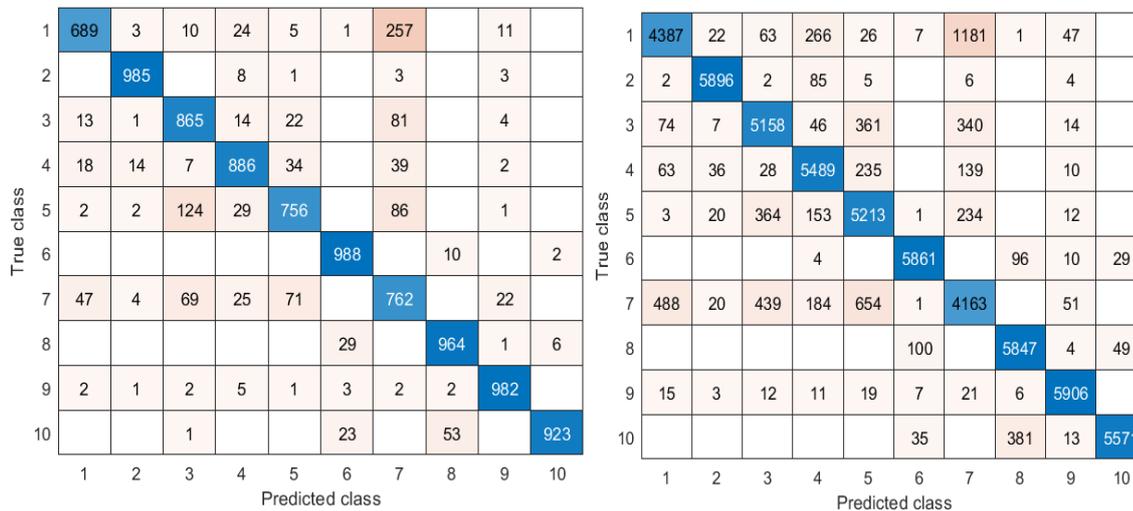


Figure 7. Confusion matrix ((a) Testing data, (b) Training data) (CNN_1)

1	847		11	35	5	1	95		6	
2	1	976		18	1		4			
3	25		750	11	120		93		1	
4	27	8	7	908	19		30		1	
5		2	65	43	832	1	57			
6				1		975		17		7
7	157	3	61	36	128		604		11	
8						25		959		16
9	2	1	4	1	4	2	3	6	977	
10						12		58		930
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(a)

1	4708	15	71	227	10	5	926	1	37	
2	2	5902	4	68	3		16		5	
3	55	5	5001	73	284	2	563		17	
4	158	82	6	5456	100	2	181		11	4
5	15	19	716	323	4186		715		26	
6			1	2		5856	1	88	8	44
7	613	21	489	162	282	1	4397		35	
8						188		5687	2	123
9	11	4	36	17	11	16	63	3	5835	4
10				1		63		246	4	5686
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(b)

Figure 8. Confusion matrix ((a) Testing data, (b) Training data) (CNN_2)

1	838	1	21	29	5	3	98		5	
2	2	976		15	2		3		2	
3	16	1	815	13	83		72			
4	25	4	12	897	28		34			
5	1	1	40	25	856		75		2	
6						983		13		4
7	117		58	26	186		608		5	
8						29		946	2	23
9	1	1	3	3	6	2	7		976	1
10				1		13		49	1	936
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(a)

1	5080	3	101	175	20		592		29	
2	2	5869	5	82	11		27		4	
3	93	2	4844	55	526		469		11	
4	90	23	51	5503	167		159		6	1
5	5	8	142	146	5337		348		14	
6		2		2		5924		50	5	17
7	569	6	325	164	867		4044		24	1
8						138		5744	1	117
9	15	1	15	12	24	11	43	4	5874	1
10				7		76	2	234	1	5680
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(b)

Figure 9. Confusion matrix ((a) Testing data, (b) Training data) (CNN_3)

1	816		15	37	3		120		9	
2		985	1	12					2	
3	14		823	12	71		80			
4	15	6	7	910	21		41			
5	1	1	41	39	862		51		5	
6						989		8		3
7	89	2	43	28	140		687		11	
8						26		953	1	20
9	1	1	2	4	3	2	4		982	1
10						9	1	43	1	946
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(a)

1	4940	4	54	167	10	1	780		44	
2	3	5921		61	6		8		1	
3	90	3	4951	59	465		415		17	
4	102	56	14	5589	109		124		6	
5	3	10	180	214	5287		296		10	
6						5943		39	3	15
7	553	15	304	146	710		4241		31	
8						165		5743	2	90
9	28	1	11	13	14	4	22	3	5903	1
10						67		220	2	5711
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(b)

Figure 10. Confusion matrix ((a) Testing data, (b) Training data) (CNN_4)

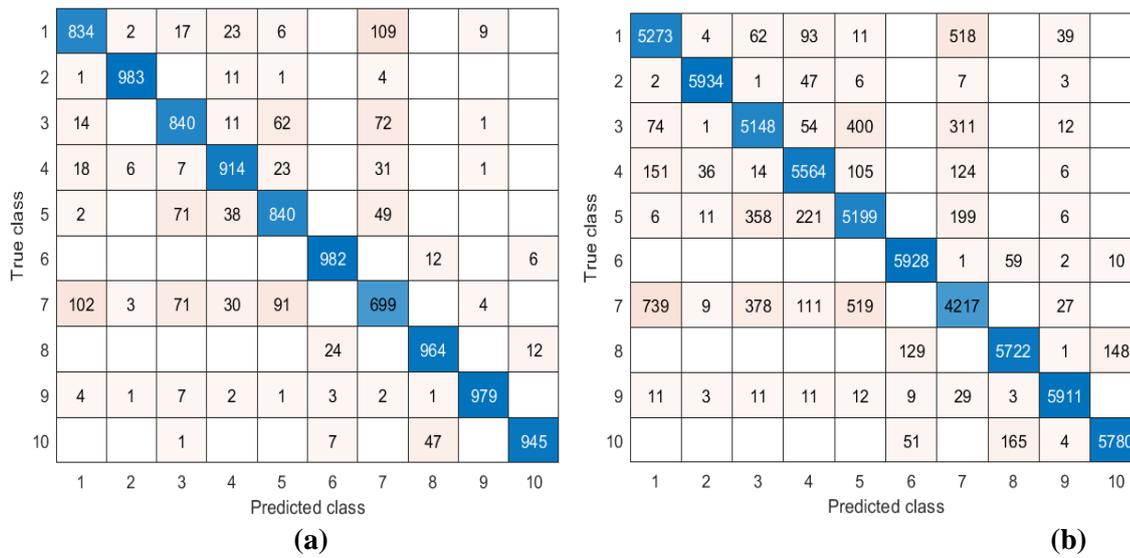


Figure 11. Confusion matrix ((a) Testing data, (b) Training data) (CNN_5)

Table 7. The Comparison of the proposed CNN models with literature results on Fashion-MNIST dataset

Methods	Fashion-MNIST		
	Reference - Year	Testing Accuracy (%)	Training Accuracy (%)
Support Vector Classifier with rbf kernel	Bhatnagar et al. (2017)	89.70%	NA
Decision Tree Classifier	Xiao et al. (2017)	79.80%	NA
Extra Tree Classifier	Xiao et al. (2017)	77.50%	NA
Kneighbors Classifier	Xiao et al. (2017)	85.40%	NA
Linear SVC	Xiao et al. (2017)	83.60%	NA
Logistic Regression	Xiao et al. (2017)	84.20%	NA
MLP Classifier	Xiao et al. (2017)	87.10%	NA
Passive Aggressive Classifier	Xiao et al. (2017)	77.60%	NA
Perceptron	Xiao et al. (2017)	78.20%	NA
Random Forest Classifier	Xiao et al. (2017)	87.30%	NA
SGD Classifier	Xiao et al. (2017)	81.90%	NA
Gaussian NB	Xiao et al. (2017)	51.10%	NA
Three-layer Neural Network	Zhang (2018)	87.23%	NA
FFNN with softmax	Agarap (2018)	89.35%	NA
FFNN with relu	Agarap (2018)	89.06%	NA
Architecture 1	Kadam et al. (2020)	89.65%	99.60%
Architecture 2	Kadam et al. (2020)	92.76%	92.02%
Architecture 3	Kadam et al. (2020)	93.56%	93.09%
Architecture 4	Kadam et al. (2020)	92.94%	93.17%
Architecture 5 with Adam optimizer	Kadam et al. (2020)	93.56%	93.12%
Architecture 5 with RMSprop optimizer	Kadam et al. (2020)	92.86%	92.67%
Proposed CNN_1	-	88.00 %	89.00 %

Proposed CNN_2	-	87.58%	87.86%
Proposed CNN_3	-	88.31%	89.83%
Proposed CNN_4	-	89.53%	90.38%
Proposed CNN_5	-	89.80%	91.13%

8. CONCLUSIONS

In this study, image classification was performed using Convolutional Neural Networks (CNNs). Five different CNN architectures (CNN_1, CNN_2, CNN3, CNN4, and CNN_5) were designed. These architectures have different fully connected layers, different pooling layers, and different convolutional layers. The success of five different CNN models was tested on the Fashion-MNIST dataset. The Fashion-MNIST dataset was first introduced by Zalando Research in 2017. Fashion-MNIST was proposed as a direct replacement for the classic MNIST handwritten digit dataset, which is considered a benchmark for machine learning techniques because it contains the same structure, image format, and the size of the training and test set partitions. Fashion-MNIST has a more complex structure than MNIST. Although not as widespread as the MNIST dataset, Fashion-MNIST is used by many researchers in the literature for performance evaluations.

In this study, the success of five different designed CNN models on the Fashion-MNIST dataset was calculated accuracy values on both training and testing data. Hyperparameters (channel size, kernel size, batch size, learning rate, optimizer type, and epoch number) given as input to CNN models are calculated by the PRO metaheuristic algorithm. While these values are usually determined through trial and error in the literature, in this study, they are optimized using the recently proposed Partial Reinforcement Optimizer (PRO) metaheuristic algorithm. In the PRO metaheuristic algorithm, population individuals are designed as discrete variables in the form of six-dimensional vectors that can store six different hyperparameters. Each population individual in the discrete PRO metaheuristic algorithm provides hyperparameter input to the CNN model. The hyperparameters with the highest accuracy values in the CNN model during each PRO FEs cycle are stored as the Best individual in the PRO metaheuristic algorithm. When the MaxFEs value is reached in the PRO metaheuristic algorithm, the variable values of the Global Best population individual are stored as the best hyperparameters to be given as input to the CNN model.

In this study, CNN models and the hyperparameter values used in these models are presented. When comparing the results of CNN models with the literature based on training data accuracy and testing data accuracy, the PRO-optimized CNN models, while not achieving the highest accuracy, achieved results competitive with the literature. This study aimed to shorten the time required to estimate hyperparameter values by utilizing metaheuristic algorithms rather than performing specialized analyses for CNN hyperparameters, which can take a long time.

In future studies, it is planned to design more hyperparameters as variables with PRO on different image datasets and to estimate them with the discrete or continuous PRO algorithm and to provide input for each population individual to the CNN model.

REFERENCES

- Agarap, A. F. (2018). Deep learning using rectified linear units (relu). arXiv preprint arXiv:1803.08375.
- Bhatnagar, S., Ghosal, D., & Kolekar, M. H. (2017, December). Classification of fashion article images using convolutional neural networks. In 2017 Fourth International Conference on Image Information Processing (ICIIP) (pp. 1-6). IEEE.
- Greeshma, K. V., & Sreekumar, K. (2019). Hyperparameter optimization and regularization on Fashion-MNIST classification. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(2), 3713-3719.
- Kadam, S. S., Adamuthe, A. C., & Patil, A. B. (2020). CNN model for image classification on MNIST and fashion-MNIST dataset. *Journal of scientific research*, 64(2), 374-384.
- Manessi, F., & Rozza, A. (2018, August). Learning combinations of activation functions. In 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR) (pp. 61-66). IEEE.
- O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1511.08458.
- Xiao, H., Rasul, K., & Vollgraf, R. (2017). Fashion-mnist: a novel image dataset for benchmarking machine learning algorithms. arXiv preprint arXiv:1708.07747.
- Zhang, K. (2018). LSTM: an image classification model based on fashion-MNIST dataset. *ANU Bio-inspired Computing, Canberra, Australia*.

PREDICTION OF THE RISK STATUS IN PREGNANCY USING ARTIFICIAL AFTERIMAGE ALGORITHM

Assistant Professor, Murat DEMİR

Muş Alparslan University Faculty of Engineering Architecture, Department of Software
Engineering, m.demir@alparslan.edu.tr - 0000-0001-7362-0401

ABSTRACT

The concept of multidisciplinary study is a very important concept that stands out with the rapid development of technology. In particular, the increase in information processing capacity, the emergence of new methods of solution, as well as the development of artificial intelligence and machine learning methods; Finance, health, entertainment, industrial applications, chemistry, physics, astronomy, etc. in many disciplines, the advantage of the advantageous aspects of computer technology has increased significantly. Especially with the help of artificial intelligence and machine learning technologies; Some problems that can be solved very long or cannot be solved by classical methods have been solved more easily.

In this study, the pregnancy data set, which was obtained by considering some factors; Pregnancy risk status was tried to be estimated. Maternal Health and High-Risk Pregnancy Dataset obtained from Kaggle performed an artificial Afterimage algorithm on a clustering. Most of the data set is reserved for training. 90 % success in the data allocated for the test was estimated.

Keywords: Artificial Afterimage Algorithm, Pregnancy Risk Prediction, Data Clustering

GEBELİKTE RİSK DURUMUNUN YAPAY AFTERIMAGE ALGORİTMASI KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ

ÖZET

Multidisipliner çalışma kavramı, teknolojinin çok hızlı gelişmesiyle birlikte ön plana çıkan çok önemli bir kavramdır. Özellikle bilgi işleme kapasitesinin artması, yeni çözüm yöntemlerinin ortaya çıkması ayrıca yapay zeka ve makine öğrenmesi yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte; finans, sağlık, eğlence, endüstriyel uygulamalar, kimya, fizik, astronomi vb. bir çok bilim dalında bilgisayar teknolojisinin avantajlı yanlarından faydalanılma oranı çok ciddi artmıştır. Özellikle yapay zeka ve makine öğrenmesi teknolojilerinin yardımıyla; çözümü çok uzun sürebilen ya da klasik yöntemlerle çözüme kavuşturulamayan bazı problemler, daha kolay çözülebilmektedir.

Bu çalışmada bazı faktörler göz önüne alınarak elde edilmiş olan gebelik veri seti işlenerek; gebelik risk durumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kaggle'dan elde edilen Maternal Health and High-Risk Pregnancy Dataset üzerinde Artificial Afterimage algoritması bir kümeleme gerçekleştirmiştir. Veri setinin büyük kısmı eğitim için ayrılmıştır. Test için ayrılan verilerde %90 başarı ile risk durumu tahmin edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yapay Afterimage Algoritması, Gebelik Risk Tahmini, Veri Kümeleme

1. INTRODUCTION

The rapid development of technology, and particularly the extraordinary advances in computer technology, are significantly beneficial to every field of science. Multidisciplinary studies can thus progress much more rapidly. Multidisciplinary approaches have been used in education, research, and industrial applications for decades [1]. In this respect, computer technology has facilitated significant advancements in many fields, including economics, healthcare, entertainment, manufacturing, astronomy, banking, and more.

The areas where computer technology has advanced most in recent years are artificial intelligence and machine learning. Artificial intelligence and machine learning are concerned with the transfer of learning and human-specific characteristics to machines or artifacts. Studies in this area have focused on diverse topics, such as solving mathematical problems, performing specialized tasks, and drawing inspiration from the human brain and human working principles. Although focused on these areas, the overall goal is to perform these tasks even better than humans [2].

Machine learning is a subfield of artificial intelligence. It involves teaching computers what to do with algorithms to solve a problem. Instead of algorithms that follow a predetermined path, it involves developing algorithms that find solutions to dynamic problems using a large number of previously defined/learned states [3]. Machine learning is divided into three main categories: supervised learning, unsupervised learning, and reinforcement learning. Supervised learning includes types such as classification, regression, and ensemble learning. Unsupervised learning includes types such as clustering and association analysis [4].

2. HEURISTIC METHODS

Heuristic methods are particularly popular in optimization. They have become very popular in recent years, particularly in multidisciplinary studies. They have been successfully applied in many critical application areas, such as healthcare, engineering computations, and image processing technology.

Living things and systems in nature possess a magnificent infrastructure. Each system has its own unique mathematical model. All living things and systems move, feed, and sustain their lives/existence by utilizing the mathematical behavior within their structures. This field of

study, which has grown in popularity in recent years, has become particularly popular in scientific applications.

All heuristics tend to be similar to the best. They begin the solution from a random starting point and proceed by selecting the best solution(s) at each iteration. In the next iteration, they generate new solutions using the solution(s) they selected as best. This process continues until a specified value is reached or a certain number of steps are reached, generating new solutions.

Each heuristic method has its own mathematical model when generating new solutions and utilizing the best one. The equations of this model are used when generating new solutions. In fact, all heuristic methods fundamentally operate in the same way. They all adopt the principle of proceeding with the best approach. However, the mathematical model used to achieve the goal differs because they all mimic different systems or living organisms.

Examples of well-known heuristic methods: Ant Colony Optimization [5], Artificial Bee Colony Algorithm [6], Bat Algorithm [7], Firefly Algorithm [8], Grey Wolf Optimizer [9], Whale Optimization Algorithm [10], Particle Swarm Optimization [11], Bobcat Optimization Algorithm [12], Fossa Optimization Algorithm [13], Painting Training Based Optimization [14], Enterprise Development METAMIS [15], Stadium Spectators Optimizer (SSO) [16], Botox Optimization Algorithm (BOA) [17], Walking Palm Tree (WPT) optimizer [18].

2.1. Artificial Afterimage Algorithm

In this study, we used the Artificial Afterimage Algorithm [19], a heuristic method. It is a new heuristic algorithm in the literature and has shown a high success rate in previous studies. It utilizes the concepts of positive afterimage, negative afterimage, visual angle, and perceptual dimension in visual perception. Even if the eyes are closed when looking at a luminous object for a certain period of time, the image of the object continues to be formed in the visual cortex of the brain. If the image remains the same color and becomes indistinct, it is called a positive afterimage. If it changes to complementary colors when viewed against a neutral background, it is called a negative afterimage.

Visual angle (V) and perceptual size (S) are two concepts that influence the formation of an object's image in our eyes. The size of the object and its distance from the eye are factors that affect these two concepts. Equations (1) and (2) show the mathematical expressions of visual angle and perceptual size [20].

$$\text{Visual Angle } (V) = 2 \cdot \arctan \left(\frac{\text{object size}}{2 \cdot \text{object distance}} \right) \quad (1)$$

$$S = V \cdot D \quad (2)$$

D is the distance of the object from the eye.

In the Artificial Afterimage Algorithm, the concepts of visual angle and perceptual size are adapted as in Equations (3) and (4) [20].

$$V = 2 * \text{atan} \left(\frac{\text{pop}_{i,j}}{2 * \text{pop}_{i,j} - \text{best}_{1,j}} \right) \quad (3)$$

$$S_{i,j} = V * (\text{pop}_{i,j} - \text{best}_{1,j}) \quad (4)$$

Equation (5) represents the new solution values that will be regenerated at each iteration. When generating these new solution values, the best value, representing the positive afterimage value, and the worst value, representing the negative afterimage value, are used. Additionally, the perceptual dimension value obtained from the visual angle is also used [20].

$$\text{New } \text{pop}_{i,j} = S_{i,j} + (|S_{i,j} - (\text{best}_{1,j} - |(\text{worst}_{i,j} - \text{pop}_{i,j})|)|) * \text{rand} \quad (5)$$

New pop_{i,j} are solution candidates that are generated again in each iteration. They are obtained specifically for the problem. Depending on the structure of the problem, the number of parameters and solution values will vary.

3. DATA CLUSTERING

The ever-increasing amount of data makes it difficult to analyze data in systems. A new concept has emerged with this growth: data mining. Data mining is a process that uses various data analysis methods based on statistics and artificial intelligence to discover hidden patterns and relationships in large data sets [21]. There are two basic approaches in data mining: supervised learning and unsupervised learning. Clustering is an unsupervised learning technique. Data is grouped using only the closeness between input features, without using output features. The process is based on maximum similarity within the group and maximum dissimilarity between groups [22].

A structure called a confusion matrix is used in clustering. This matrix shows the number of correctly or incorrectly predicted samples. These values are used to calculate the metrics used in clustering performance. Table 1 shows the confusion matrix [23].

Table 1. Confusion matrix

	Actual positive	Actual negative
Predicted positive	True positive (TP)	False positive (FP)
Predicted negative	False negative (FN)	True negative (TN)

Accuracy, Precision, Recall, and F1 metrics are used to measure clustering performance. Accuracy represents the accuracy of the model, Precision represents the validity of the model, Recall represents the completeness of the model, and F1 represents the balance between Precision and Recall, as it is the harmonic mean of these two values. Equations (6), (7), (8), and (9) show the formulas for these performance metrics [23].

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (6)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (7)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

$$F1\ score = 2 * \frac{Precision*Recall}{Precision+Recall} \quad (9)$$

4. EXPERIMENTAL STUDIES

This study used the Maternal Health and High-Risk Pregnancy Dataset [24] obtained from the Kaggle database. The dataset contains 1205 samples, each containing 11 different values. Pregnancies are separated as high-risk or non-high-risk based on various factors. This classification can be crucial for prenatal care and early risk detection, facilitating interventions for at-risk pregnancies. Some of the samples were reserved for training. Twenty-five samples were randomly selected from the non-risk (0) and high-risk (1) groups. The remaining samples were used for training. Some samples in the dataset contained missing values, which were removed from the training samples.

The algorithm was tested at iteration values of 1000, 2000 and 3000. As a result of all these tests, the best matrix, the worst matrix and the resulting cluster intervals that lead to the best clustering solution are given in Tables (2), (3) and (4).

Table 2. Best matrix

224.86	889.88	239.78	76.49	437.32	0.33	94.89	0.60	32.29	0.46	502.68
--------	--------	--------	-------	--------	------	-------	------	-------	------	--------

Table 3. Worst matrix

1.07e +217	1.25e +215	1.17e +203	7.83e +213	1.70e +305	8.55e +205	1.45e +207	2.04e +215	1.03e +214	2.21e +200	3.69e +213
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

The cluster intervals obtained from the values in Table 2 and Table 3 are as in Table 4.

Table 4. Cluster intervals

Cluster 1	Cluster2
150.5154	182.8468
163.0923	208.6530
164.0923	228.6268
171.1439	232.1530
171.2177	235.3183
175.6154	239.0268
176.2183	240.5892
176.6439	241.1268
180.4439	249.1530
182.1154	253.2892
187.6439	253.6468
188.6439	256.2268
194.6177	257.8892
196.5439	258.2268
203.6154	262.0268
204.7439	266.8268
207.6439	267.1530
209.3439	267.1530
213.6439	267.2268
215.1439	274.7268
216.3177	279.1530
218.1439	285.0268
230.1439	289.1530
233.5439	290.1530
236.1439	299.1268

As can be seen in Table 4, the values for the non-risky group range from 150.5154 to 236.1439. The values for the risky group range from 182.8468 to 299.1268. Here, only the first 5 values from the risky group were calculated incorrectly. The other 45 values were calculated correctly. The confusion matrix values are as in Table (5).

Table 5. Confusion matrix

		Actual Values	
		Not High Risk	High Risk
Predicted	Not High Risk	25	0
	High Risk	5	20

The values of performance metrics according to the confusion matrix values are as follows.

Metrics for the Not High Risk cluster:

$$Accuracy = \frac{25 + 20}{25 + 20 + 0 + 5} = 0.9$$

$$Precision = \frac{25}{25 + 0} = 1$$

$$Recall = \frac{25}{25 + 5} = 0.833$$

$$F1\ score = 2 * \frac{1 * 0.833}{1 + 0.833} = 0.909$$

Metrics for the High Risk cluster:

$$Accuracy = \frac{20 + 25}{20 + 25 + 5 + 0} = 0.9$$

$$Precision = \frac{20}{20 + 5} = 0.8$$

$$Recall = \frac{20}{20 + 0} = 1$$

$$F1\ score = 2 * \frac{0.8 * 1}{0.8 + 1} = 0.889$$

Arithmetic average of metric values for both groups:

Accuracy = 0.9, Precision = 0.9, Recall = 0.917 and F1 = 0.899

There are classification studies in the literature using this dataset. In this study, the Artificial Afterimage Algorithm was used for clustering. No other studies have been found that use this dataset for clustering. In this respect, the study is original.

5. RESULTS AND EVALUATION

The Artificial Afterimage Algorithm is a relatively new algorithm to the literature. Despite this, it demonstrates a high success rate on the data it is applied to. This success rate demonstrates that the algorithm's mathematical infrastructure is well-established. The fact that the Maternal Health and High-Risk Pregnancy Dataset used in this study has not been subjected to clustering before makes the study more meaningful. Accuracy, Precision, Recall, and F1 values were also acceptable.

REFERENCES

1. Ausburg, T., *Becoming Interdisciplinary: An Introduction to Interdisciplinary Studies*, Kendall/Hunt Publishing, 2006.
2. Kartal, E., *Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ*, Tıp Bilişimi, 2021, <https://doi.org/10.26650/B/ET07.2021.003.18>.
3. Gürsakal, N., *Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme*, Dora Basım, Bursa, 2017.
4. Kişisel Verileri Koruma Kurumu, *Yapay Zekâ Teknolojilerine Akademik Bakış*, Adalet Yayınevi, Ankara, 2025.
5. Dorigo, M. et al., Ant Colony Optimization, IEEE Computational Intelligence Magazine, 1(4), 28-39, 2006, DOI: 10.1109/MCI.2006.329691.
6. Karaboga, D., An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. Technical Report-TR06, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Erciyes University, Kayseri, 2005.
7. Yang, X. S., A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm, Studies in Computational Intelligence, 284, 2010, DOI: 10.1007/978-3-642-12538-6_6.
8. Yang, X. S., Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver Press. ISBN 978-1-905986-10-1, 2008.
9. Mirjalili, S., et al., Grey wolf optimizer, Advances in Engineering Software, 69, 46-61, 2014.
10. Mirjalili, S., Lewis, A., The Whale Optimization Algorithm, Advances in Engineering Software, Volume 95, Pages 51-67, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>.
11. Kennedy, J. and Eberhart, R., *Particle swarm optimization*, Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948 vol.4, Perth, WA, Australia, 1995, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
12. Benmamoun, Z., Khlie, K., Bektemyssova, G. et al. Bobcat Optimization Algorithm: an effective bio-inspired metaheuristic algorithm for solving supply chain optimization problems. Sci. Rep., 14, 20099, 2024, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70497-1>.
13. Hamadneh, T. et al., Fossa Optimization Algorithm: A New Bio-Inspired Metaheuristic Algorithm for Engineering Applications, International Journal of Intelligent Engineering and Systems, Vol.17, No.5, 2024, DOI: 10.22266/ijies2024.1031.78.
14. Amin, S. U., & Dehghani, M., Painting Training Based Optimization: A New Human-based Metaheuristic Algorithm for Solving Engineering Optimization Problems.

- Engineering, Technology & Applied Science Research, 15(2), 21774–21782, 2025,
<https://doi.org/10.48084/etasr.9917>.
15. Dong, Y., et al., A metaheuristic algorithm for large maximum weight independent set problems. *Networks*, Volume 85, issue 1, 91–112, 2025,
<https://doi.org/10.1002/net.22247>.
 16. Nemati, M., et al., Application of a novel metaheuristic algorithm inspired by stadium spectators in global optimization problems. *Scientific Reports*, 14, 3078, 2024.
 17. Hubálovská, M., et al., Botox Optimization Algorithm: A New Human-Based Metaheuristic Algorithm for Solving Optimization Problems. *Biomimetics* (Basel, Switzerland), 9(3), 137, 2024, <https://doi.org/10.3390/biomimetics9030137>.
 18. Zitouni, F., et al., *The Walking Palm Tree algorithm: A new Metaheuristic Algorithm for Solving Optimization Problems*. Proceedings of the International Conference on Emerging Intelligent Systems for Sustainable Development ICEIS 2024,
DOI:10.2991/978-94-6463-496-9_3.
 19. Demir, M., Artificial Afterimage Algorithm: A New Bio-Inspired Metaheuristic Algorithm and Its Clustering Application. *Applied Sciences*, 15(3), 1359, 2025,
<https://doi.org/10.3390/app15031359>.
 20. https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_angle, Access date: 20 November 2024.
 21. Dolgun, Ö. M., Özdemir, G. T., Oğuz, D., Veri Madenciliğinde Yapısal Olmayan Verinin Analizi: Metin ve Web Madenciliği, *İstatistikçiler Dergisi*, 2(2), 48-58, 2009.
 22. Dudoit, S., & Fridlyand, J., A Prediction-Based Resampling Method For Estimating The Number Of Clusters in a Dataset. *Genome biology*, vol. 3, no. 7., 2002.
 23. Tan, P., Steinbach, M., & Kumar, V. (2014). *Performance Measure in Introduction to Data Mining*, Pearson Education Limited (UK), 2014.
 24. <https://www.kaggle.com/datasets/vmohammedraiyyan/maternal-health-and-high-risk-pregnancy-dataset>, Access date: 05 August 2025.

ONLINE ALIŞVERİŞTE AYAKKABI ÜRÜNÜ İADESİ İLE İLGİLİ YORUMLARIN WEB MADENCİLİĞİ VE DUYGU ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Kinyas POLAT

Sinop Üniversitesi, kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

Prof. Dr. Selahattin BARDAK

Sinop Üniversitesi, sbardak@sinop.edu.tr -0000-0001-9724-4762

ÖZET

Son zamanlarda online alışveriş çok kullanılmaktadır. Online alışverişte birçok ürün satın alınmaktadır. Bu ürünlerden bazıları farklı nedenlerle iade edilebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada online alışverişte ayakkabı ürününün iade nedenleri araştırılmış. Bunun için ayakkabı ürünü ile ilgili yorumlar web madenciliği yöntemi ile incelenmiş ve en çok geçen anlamlı kelimeler tespit edilmiştir. Daha sonra bu kelimeler duygu analizi yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için Rapidminer yazılımı kullanılmıştır. Rapidminer yazılımı veri analizinde çok kullanılan programlardan biridir.

Yapılan çalışma sonucu 510 kelime belirlenmiştir. Bu kelimelerden ayakkabı ürünü iadesi ile ilgili en yüksek bilgi değeri taşıyan 50 anlamlı terim belirlenmiştir. Bu terimlerin yorumlar içindeki görülme sıklıkları ve kaynak sayfalarındaki dağılımları incelenmiş, ardından duygu analiziyle sınıflandırma yapılmıştır. Duygu analizi sonucu 20 kelimenin negatif, 18 kelimenin pozitif ve 12 kelimenin ise nötr olduğu tespit edilmiştir.

Bulgular, ayakkabı kategorisinde iade davranışının dilsel göstergelerini aydınlatarak hem bu alanda çalışacak araştırmacılara hem de çevrimiçi perakendecilere ürün, açıklama ve kalite süreçlerini geliştirmeye yönelik kanıta dayalı içgörüler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Web Madenciliği, Duygu Analizi, Online Alışveriş, Yorum

EVALUATION OF COMMENTS ABOUT SHOE PRODUCT RETURNS IN ONLINE SHOPPING USING WEB MINING AND SENTIMENT ANALYSIS

ABSTRACT

Online shopping has become increasingly popular lately. Many products are purchased online. Some of these items can be returned for various reasons.

In this study, the reasons for returning shoe products in online shopping were investigated. To this end, reviews about the shoe product were analyzed using web mining to identify the most frequently occurring meaningful words. These words were then analyzed using sentiment analysis.

Rapidminer software was used to conduct the study. Rapidminer is one of the most commonly used programs for data analysis.

The study resulted in the identification of 510 words. Of these, the 50 meaningful terms with the highest informational value regarding shoe product returns were identified. The frequency of occurrence of these terms in the comments and their distribution on the source pages were examined, and then classification was made using sentiment analysis. As a result of sentiment analysis, it was determined that 20 words were negative, 18 words were positive and 12 words were neutral.

The findings illuminate the linguistic indicators of return behavior in the footwear category, providing evidence-based insights for both researchers and online retailers to improve product, description, and quality processes.

Keywords: Web Mining, Sentiment Analysis, Online Shopping, Reviews

1. GİRİŞ

Dijitalleşmeyle birlikte çevrimiçi alışverişte kullanıcı tarafından üretilen içerik—özellikle ürün yorumları ve puanlar—tüketici kararlarında bilgi ve ikna kaynağı olarak belirleyici hâle gelmiştir. Son dönem bir derleme ve bibliyometrik inceleme, e-ticaret ürün yorumlarına yönelik duygu analizinin (sentiment analysis) yöntemsel çeşitliliğini ve uygulama alanlarının hızla genişlediğini göstermektedir [1].

Yorumların satın alma niyeti üzerindeki etkisini nicel olarak sentezleyen çalışmalar olumlu/olumsuz yönelim için en güçlü belirleyici olduğunu, hacim ve puan gibi diğer değişkenlerle birlikte niyeti anlamlı biçimde etkilediğini ortaya koymaktadır [2]. Bulgular, çevrimiçi değerlendirmelerin yalnızca bilişsel bilgi değil, aynı zamanda sosyal kanıt işlevi gördüğünü ima etmektedir [3]. Ayrıca, duygu tonunun satış performansı üzerindeki etkisi çeşitli kategorilerde ampirik olarak doğrulanmıştır [4].

Yöntemsel açıdan, güncel literatür özellik-temelli duygu analizinin (aspect-based sentiment analysis, ABSA) ürün yorumlarında “hangi boyutlara” (ör. uyum/kalıp, konfor, teslimat, fiyat-performans) atfedilen duyguyu ayrıştırmada merkezi bir rol oynadığını; BERT ve türevleri gibi

bağlamsal dil modellerinin ABSA’da doğruluk ve genellenebilirliği belirgin biçimde artırdığını göstermektedir [5].

Kategori düzeyinde, ayakkabı ürünleri “uyum/numara doğruluğu”, “konfor” ve “dayanıklılık” gibi deneyimsel özellikler nedeniyle satın alma öncesi belirsizliği artırır; bu da yorumların etkisini güçlendirir. Spor ayakkabı odaklı kapsamlı bir çalışma, sosyal platform yorumları üzerinde konu modelleme ve duygu analizi ile kullanıcı deneyim gereksinimlerinin sistematik biçimde çıkarılabildiğini göstermektedir [6].

Pazar seviyesinde ise yorum ekosistemi taşma (spillover) etkileri üretebilir: birlikte ziyaret edilen rakip ürünlerin yorum dinamikleri, odak ürünün satın alımlarını dahi etkileyebilmektedir [7].

Türkiye bağlamında, Türkçe modellerin performansına ilişkin bulgular, dil-özgül ön-eğitilmiş modellerin (ör. BERTurk, TurkishBERTweet) Türkçe duygu analizi görevlerinde güçlü sonuçlar verdiğini göstermektedir [8, 9].

Bu çalışmada çevrimiçi alışverişte ayakkabı ürünlerine iadesine ait kullanıcı yorumları web madenciliği ile toplanmış; genel duygu yönelimi ile ayakkabı kategorisine özgü temel boyutlarda duygu analizi yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Amaç; potansiyel alıcıların karar süreçlerine ve satıcıların ürün/hizmet iyileştirmelerine kanıta dayalı girdiler sunmak ve bulguları güncel literatürdeki satın alma niyeti ve yorum dinamikleriyle ilişkilendirerek tartışmaktır [2, 5, 6].

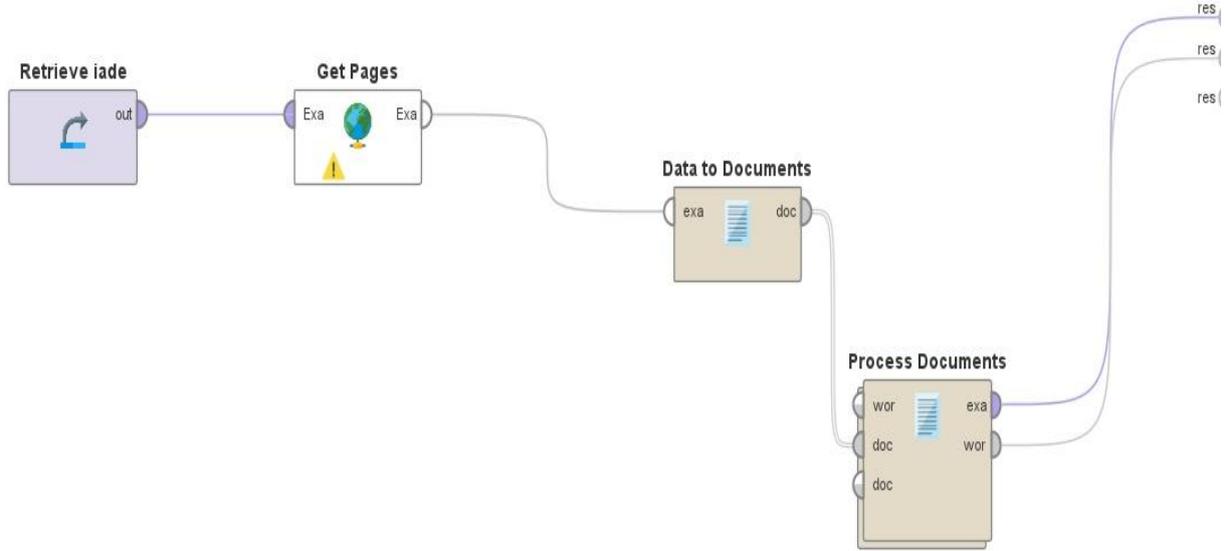
2.UYGULAMALAR

2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada, Türkiye’de çevrimiçi alışveriş platformlarında Türk tüketicilerin ayakkabı ürününün iadesi ile ilişkin paylaştıkları yorumlar web madenciliği ve duygu analizi yöntemleriyle incelenmiştir. İlk aşamada veriye erişim için web madenciliği uygulanmış; ülkemizde en çok kullanılan e-ticaret sitelerinden çekilen yorumlar üzerinde metin ön-işleme yapılarak en sık geçen sözcük/terimler belirlenmiştir. Bunu izleyen aşamada, seçilen bu terimler ve ilgili metin parçaları üzerinde duygu sınıflaması gerçekleştirilmiştir.

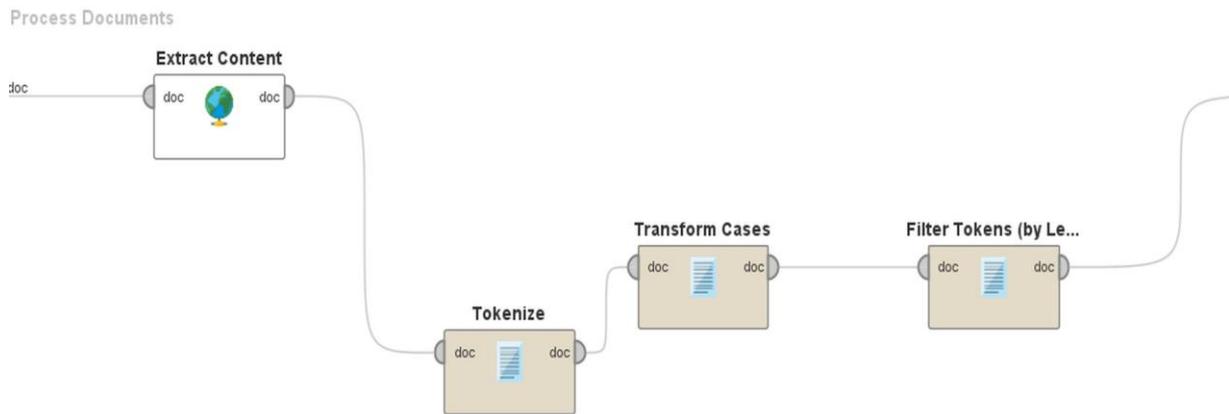
2.2. Verilerin Modellenmesi

Veri çekimi ve analiz akışının kurulmasında RapidMiner yazılımından yararlanılmıştır. RapidMiner; veri toplama ve çözümlenme süreçlerinde kullanılan çok sayıda yerleşik operatör sunan, sanayi ve akademide yaygın biçimde tercih edilen bir platformdur [5, 11]. Bu çalışmada verilerin elde edilmesi ve analizine yönelik iş akışı (proses) RapidMiner ortamında tasarlanmış olup, söz konusu akışın şematik gösterimi Görsel 1’de sunulmaktadır.



Görsel 1. Web Sayfalarından Tüketicilerin Online Alışverişte Ayakkabı Ürünü iadesi İle İlgili Yorumlarının Metin Verileri Olarak Toplamak için Düzenlenen Proses

RapidMiner yazılımı kullanılarak veri toplama tamamlandıktan sonra, çevrimiçi alışverişte ayakkabı ürününe ilişkin değerlendirme metinlerinde en sık rastlanan kelimeler belirlenmiştir. Yorumlara dair en çok geçen kelimeleri belirlemeye yönelik kullanılan proses, Görsel 2’de gösterilmektedir.

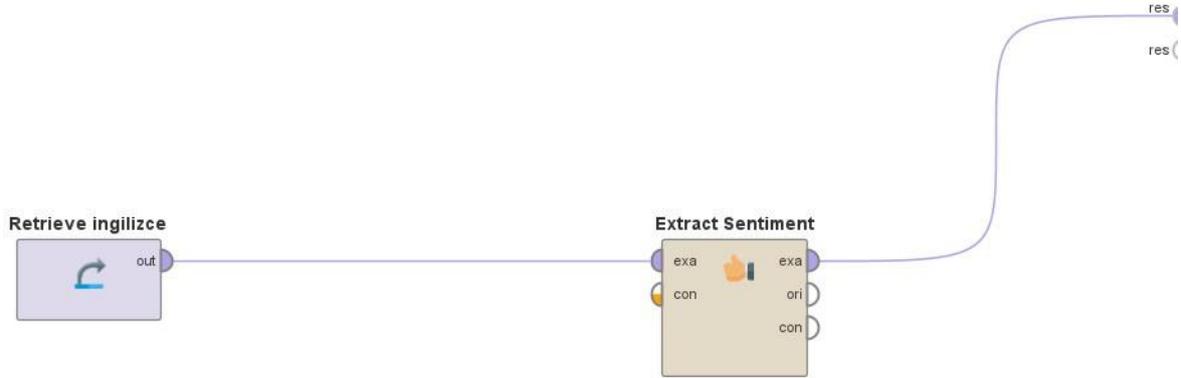


Görsel 2. Belgelerin işleme için kullanılan operatörün içeriği

Görsel 1 ve Görsel 2’den de görülebileceği gibi, süreçteki her operatör belirli bir görevi yerine getirir. İşleyiş sırası şu şekildedir: Önce kullandığımız web sayfaları kaynak olarak belirlenir, bu adresler bir Excel dosyasına kaydedilerek yazılıma aktarılır. Görsel 1’deki akışta Get Pages operatörü, veri sayfasındaki her satır için ihtiyaç duyulan alanları çekerek ham içeriği toplar; Data to Documents operatörü veri kümesini bir belge koleksiyonuna dönüştürür; Process Documents operatörü ise bu belgeler üzerinde metin işleme adımlarını yürütür. Görsel 2’deki akışta Extract Content operatörü HTML sayfalardan düz metni ayıklar; Tokenize operatörü girdiyi sözcük/terim birimlerine böler; Transform Cases operatörü tüm kelimeleri küçük harfe

çevirir; son olarak Filter Tokens operatörü, belirli bir uzunluk eşliğinin altındaki veya üstündeki belirteçleri filtreleyerek veri temizliğini tamamlar.

Web madenciliğinden elde edilen kelimelerin duygu analizi için hazırlanan proses Görsel 3’de verilmiştir.



Görsel 3. Duygu Analizi için Hazırlanan Proses

Yukarıdaki proseste görüldüğü üzere birinci operatör duygu analizi için kullanılan operatörü ve Extract Sentiment operatörü ise duyguların analizi için kullanılan operatördür.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Türk tüketicilerin en popüler online alışveriş sitelerinde ayakkabı ürünü ile ilgili yaptıkları yorumların web madenciliği ve duygu analizi yöntemlerinin uygulanması sonucunda en çok geçen 510 kelime belirlenmiştir. Bu kelimelerden ayakkabı ürünü iadesi ile ilgili en yüksek bilgi değeri taşıyan 50 anlamlı terim tespit edilmiştir. Bu kelimelerin yorumlar içindeki görülme sıklıkları ve internet sayfalarındaki dağılımları incelenmiş, ardından duygu analizi yapılmıştır. Görsel 4’de en çok geçen kelimeleri gösteren kelime bulutu, Çizelge 1’de ise bu kelimelerden bazıları verilmiştir.



Görsel 4. Kelime Bulutu

Çizelge 1. Kelimeler, Sayısı, Duygu ve Kelimelerin Geçtiği İnternet Sayfası Sayısı

Kelime	Kelime Sayısı	Kelimelerin Geçtiği İnternet Sayfası Sayısı
alışveriş	40	38
antreman	12	9
bağcıklı	30	25
beyaz	20	10
büyük	60	40
danışmanlık	35	25
dayanıklı	20	18
dayanıksız	10	10
deri	35	30
düşük	15	10
erkek	25	18
esnek	20	18
fiyat	45	40
full	1	1
füme	8	7
grup	25	20
günlük	15	14
günün	2	2
hafif	30	25
hakiki	35	30

hakkı	20	20
hava	2	2
indirimlerle	45	40
iletişim	45	35
kadın	35	30
kalite	50	40
kalitesiz	30	28
konforlu	10	8
koşu	5	5
kullanışlı	10	10
küçük	40	25
kumaş	5	5
nature	1	1
nefes	5	5
online	20	20
ortapedik	2	2
outdoor	4	4
satış	20	20
sezon	20	20
siyah	15	13
spor	10	10
taban	3	3
trend	52	40
turuncu	1	1
ultra	1	1
unisex	4	4
vison	1	1
yeni	20	20
yüksek	1	1
şeffaf	5	5

Yapılan web madenciliği analizi sonucunda online alışveriş sitelerinde ayakkabı ürünü iadesi ile ilgili geçen yorumlara ait 50 anlamlı kelime belirlenmiştir. Bu kelimelerden en fazla büyük (60), trend (52), kalite (50), fiyat (45), indirim (45) ve iletişim (45) kullanıldığı söylenebilir. Yine yapılan çalışmada duygu analizi sonucu 20 kelimenin negatif, 18 kelimenin pozitif ve 12 kelimenin ise nötr olduğu belirlenmiştir.

Duygu analizi sonucu oluşan duyguların skorlarını içeren örnek ekran görüntüsü Görsel 4'de verilmiştir.

Row No.	Score	Scoring String	Negativity	Positivity
1	0		0	0
2	0.104	training (0.10)	0	0.104
3	0.087	lace (-0.03) up (0.12)	0.087	0.173
4	0.121	white (0.12)	0.156	0.277
5	0.087	big (0.09)	0.035	0.121
6	0		0	0
7	0		0	0
8	0		0	0
9	0.017	leather (0.02)	0	0.017
10	-0.191	low (-0.19)	0.191	0
11	0		0	0
12	0.069	flexible (0.07)	0.017	0.087
13	0.087	price (0.09)	0	0.087
14	0		0	0
15	0		0	0
16	0.052	group (0.05)	0	0.052

Görsel 4. Yapılan Duygu Analizi Sonucu Duyguların Skorlarını İçeren Örnek Ekran Görüntüsü

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye’de yaygın olarak kullanılan çevrimiçi alışveriş platformlarında ayakkabı iadesi konulu tüketici yorumları web madenciliği ve duygu analizi yaklaşımlarıyla incelenmiş; yorumlarda en sık kullanılan sözcükler ile bu sözcüklerin duygu yönelimleri ortaya konmuştur. Analizler sonucunda, yorumlarda en çok geçen 50 kelime saptanmıştır. Ayakkabı iadesi bağlamında en yüksek frekansa sahip olanlar sırasıyla büyük (60), trend (52), kalite (50), fiyat (45), indirim (45) ve iletişim (45) olmuştur. Duygu analizi bulguları ise, bu kelimelerden 20’sinin pozitif, 18’inin negatif ve 12’sinin nötr yönelim taşıdığını göstermektedir. Çevrimiçi alışverişte tüketici davranışlarını doğrudan inceleyen çalışmalar hâlen sınırlıdır; bu alandaki araştırmaların kapsamının genişletilmesinin araştırmacılara değerli içgörüler sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Daza, A., González Rueda, N. D., Aguilar Sánchez, M. S., Robles Espiritu, W. F., Chauca Quiñones, M. E. Sentiment Analysis on E-Commerce Product Reviews Using Machine Learning and Deep Learning Algorithms: A Bibliometric Analysis, Systematic Literature Review, Challenges and Future Works, *International Journal of Information Management Data Insights*, November, 4,2, 2024.

- [2] Qiu, K., Qiu, K., Zhang, L. How Online Reviews Affect Purchase Intention: A Meta-Analysis Across Contextual and Cultural Factors, *Data and Information Management*, 8,2, 2024.
- [3] Ghosh, M. Meta-Analytic Review of Online Purchase Intention: Conceptualising the Study Variables, *Cogent Business & Management*, 11,1, 2024.
- [4] Wang, Q., Zhang, W., Li, J., Mai, F., Ma, Z. Effect of Online Review Sentiment on Product Sales: The Moderating Role of Review Credibility Perception, *Computers in Human Behavior*, August, 133, 2022.
- [5] Zhang, X., Yu, L., Tian, S. BGAT: Aspect-Based Sentiment Analysis Based on Bidirectional GRU and Graph Attention Network, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 44,3, 2023.
- [6] Zou, Y., Zhao, C., Childs, P., Tang, X., Fang, J. User Experience Design for Online Sports Shoe Retail Platforms: An Empirical Analysis Based on Consumer Needs, *Healthcare*, 13,6, 2025.
- [7] Kwark, Y., Lee, G. M., Pavlou, P. A., Qiu, L. On the Spillover Effects of Online Product Reviews on Purchases: Evidence from Clickstream Data, *Information Systems Research*, 32,3, 2021, 895–913.
- [8] Najafi, A., Varol, O. TurkishBERTweet: Fast and reliable large language model for social media analysis, *Expert Systems with Applications*, July, 255, 2024,
- [9] Zümbereöglu, K. B., Dik, S. Z., Karadeniz, B. S., Sahnoud, S. Towards Better Sentiment Analysis in the Turkish Language: Dataset Improvements and Model Innovations, *Applied Sciences*, 15,4, 2025.
- [10] Bardak, S., Bardak, T. *Sosyal Medya Madenciliöi ve Duygu Analizi İle Telefon Hakkındaki Yorumlarının Deöerlendirilmesi: Twitter Örneöi*, Anadolu 11. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 23-31, Diyarbakır, 2022.
- [11] Bardak, T., Bardak, S. *Twitter Verilerine Dayalı Olarak Farklı Őehirlerdeki Mobilya Eöilimlerinin Cinsiyet Açısından Belirlenmesi*, 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences, 52-54, Samsun, 2019.

ONLINE MARKET ALIŞVERİŞİNDE EN ÇOK KARŞILAŞILAN SORUNLARIN WEB MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ

Prof. Dr. Selahattin BARDAK

Sinop Üniversitesi, sbardak@sinop.edu.tr -0000-0001-9724-4762

Prof. Dr. Kinyas POLAT

Sinop Üniversitesi, kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

ÖZET

Günümüzde geleneksel market alışverişine ek olarak çevrim içi market kanalları hızla yaygınlaşmış, buna paralel olarak müşterilerin deneyimlerinde görülen sorunların niteliği ve yoğunluğu da farklılaşmıştır.

Bu çalışmada, online market alışverişinde en sık karşılaşılan sorun alanlarını veri odaklı biçimde belirlemek amacıyla web madenciliği temelli bir yaklaşım benimsenmiştir. RapidMiner Studio yazılımı kullanılarak ilgili şikâyet sayfalarından veriler derlenmiştir. Bu yazılım operatörler sayesinde çalışmakta olup web madenciliğinin uygulanabilmesi için en çok kullanılan programlardan biridir.

Yapılan çalışma sonucunda şikâyetlerde en çok geçen kelimeler, bu kelimelerin sayıları ve web sayfasında geçme sayıları tespit edilmiştir. Toplam 8.550 kelime içerisinde sorunlarla doğrudan ilişkili 64 kelimenin ayrıştığını göstermektedir. Her terim için metin içi geçiş sayıları ile farklı web sayfalarında görünme sıklığı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle eksik, bozuk, iade, teslimat ve uygulama başlıklarında kümelenmektedir.

Çalışmanın, işletmelerin süreçlerini iyileştirmesinde ve müşteri memnuniyetini artırmaya yönelik önceliklendirme kararlarını desteklemesinde pratik bir referans sunacağı değerlendirilmektedir. Online market alanındaki Türkçe odaklı içerik analizi çalışmalarının sınırlı olduğu dikkate alındığında, bu araştırmanın literatüre katkı sağlayacağı; gelecekte duygu analizi, birlikte-görünüm ağları ve zaman serisi eğilimleri ile kapsamın genişletilebileceği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Web Madenciliği, Metin Madenciliği, Alışveriş, Online Market, Müşteri Şikâyetleri

DETECTING THE MOST COMMON PROBLEMS IN ONLINE MARKET SHOPPING USING WEB MINING METHOD

ABSTRACT

Today, in addition to traditional market shopping, online market channels have become rapidly widespread, and in parallel, the nature and intensity of the problems experienced by customers have also changed.

In this study, a web mining-based approach was adopted to identify the most common problem areas in online grocery shopping in a data-driven manner. Data was compiled from relevant complaint pages using RapidMiner Studio software. This software works thanks to operators and is one of the most used programs for web mining.

As a result of the study, the words most frequently mentioned in complaints, the number of these words and the number of times they appear on the web page were determined. It shows that 64 words directly related to the problems were distinguished from a total of 8,550 words. For each term, the number of in-text occurrences and the frequency of its appearance on different web pages were calculated. The results were clustered specifically around the headings "missing," "corrupt," "returned," "delivery," and "application."

It is considered that the study will provide a practical reference for businesses to improve their processes and support their prioritization decisions to increase customer satisfaction. Considering that there are limited Turkish-focused content analysis studies in the online market field, it is suggested that this research will contribute to the literature and the scope can be expanded with sentiment analysis, co-appearance networks and time series trends in the future.

Keywords: Web Mining, Text Mining, Shopping, Online Market, Customer Complaints

1. GİRİŞ

Geleneksel market alışverişine ek olarak çevrimiçi (online) market alışverişi, özellikle son yıllarda hızlanan dijital dönüşüm ve pandeminin yarattığı davranışsal ivmeyle birlikte yaygınlaşmış, perakende gıda ekosisteminin stratejik bir bileşeni hâline gelmiştir. Bu kanal, tüketicilere zamandan tasarruf, fiyat karşılaştırma kolaylığı, geniş ürün çeşitliliği ve kapıya teslim gibi belirgin faydalar sunarken; sipariş–teslimat arasındaki zaman aralığı, stok dışı kalma ve “ikame ürün” uygulamaları, tazelik ve kalite algısı, lojistik ücretler, arayüz kullanılabilirliği, veri gizliliği ve iade süreçleri gibi bir dizi dezavantaj ve belirsizliği de beraberinde getirmektedir [1]. Bu nedenle, çevrimiçi markette tüketici deneyimini şekillendiren sorun alanlarının nicel ve metinsel verilerle sistematik olarak incelenmesi, hem akademi hem uygulama için kritik önem taşımaktadır.

Son dönemdeki ampirik çalışmalar, çevrimiçi market sepetlerinin fiziksel mağazadakilere kıyasla daha düşük çeşitlilik gösterdiğini ve hane içi ardışık çevrimiçi alışverişlerde

alışkanlık/inersiya etkisinin güçlendiğini; bunun da ürün keşfi, marka geçişleri ve sağlıklı ürün payı üzerinde etkiler doğurabildiğini göstermektedir [2].

Öte yandan çevrimiçi gıdada sipariş sonrası stok tükenmesi ve buna bağlı ikame kararları, memnuniyet ve tekrar satın alma niyeti üzerinde belirleyici sorun alanlarıdır. Hoang ve Breugelmans'ın (2023) bulguları, ikame ürünün tüketici için baskın nitelikte uyumlu seçilmesi ya da geçmiş satın alma portföyünden belirlenmesi hâlinde olumsuz tepkilerin anlamlı biçimde azaldığını göstermektedir [3].

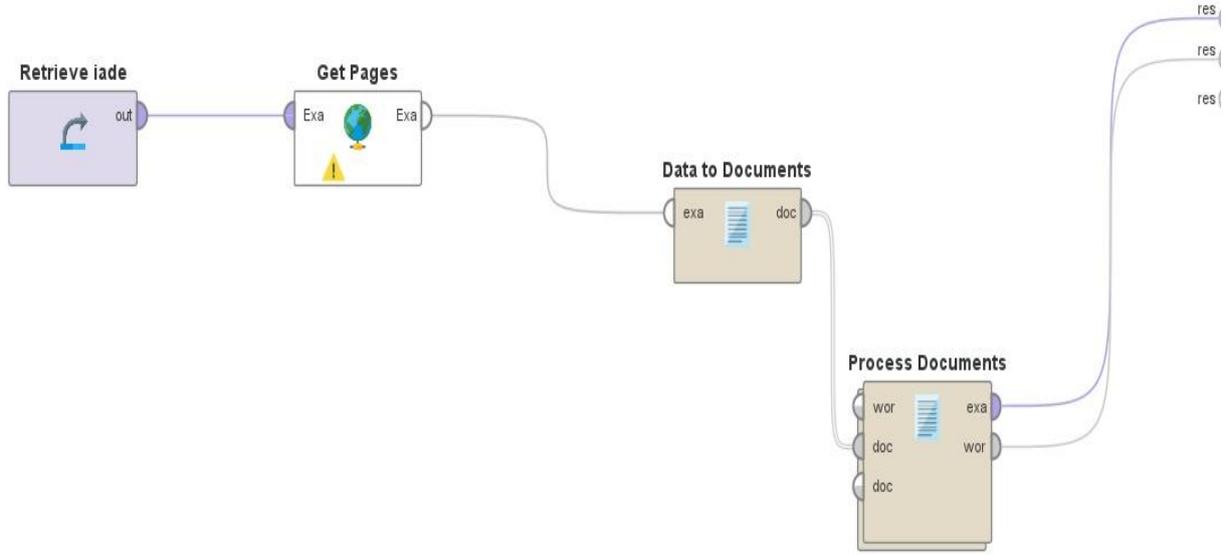
Dağıtım tarafında, son kilometre operasyonlarının maliyet, karbon emisyonu ve teslimat doğruluğu arasında denge kurulmasını gerektirdiği; sipariş karşılama politikalarının doluluk oranı, maliyet/sipariş ve emisyon gibi performans göstergelerini birlikte optimize edecek şekilde tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır [4]. Sürdürülebilirlik boyutunda ise yeniden kullanılabilir ambalaj ve döngüsel son kilometre çözümleri, gıda lojistiğinde ambalaj atığı ve kalite/tazelik risklerini azaltma potansiyeli taşıyan yeni uygulama alanları olarak öne çıkmaktadır [5].

Bu çalışma, çevrimiçi market alışverişinde tüketicilerin en çok karşılaştıkları sorunları web madenciliği yaklaşımıyla incelemektedir.

2. UYGULAMALAR

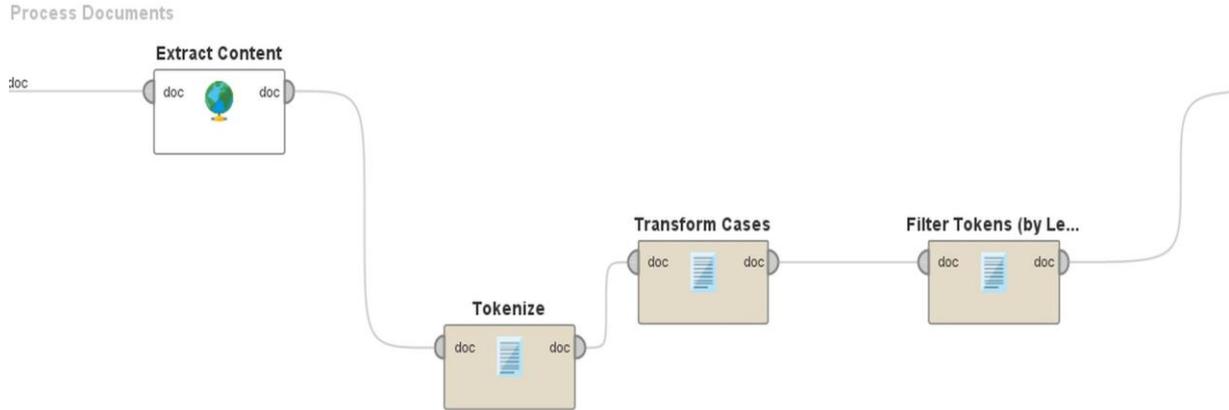
Yapılan bu çalışmada tüketicilerin online market alışverişinde en çok karşılaştıkları sorunlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla verilerin elde edilmesi için kamuya açık web sayfaların URL bilgileri derlenmiştir. Daha sonra web sayfalarındaki şikayetler rapidminer yazılımı sayesinde toplanmış ve aynı yazılım ile analiz edilmiştir. Verilerin analizinde web sayfalarında en çok geçen şikayet ile ilgili kelimeler, bu kelimeleri sayıları, geçtikleri web sayfası sayıları belirlenmiştir. Rapidminer yazılımı veri analizinde çok kullanılan programlardan bir tanesidir [6-8].

RapidMiner'da süreçler, belirli işlevleri yerine getiren operatörlerin birbirine bağlanmasıyla tasarlanır. Görsel 1'de, web sayfalarında yer alan tüketici şikayetlerini metin verisi olarak derlemek amacıyla oluşturulan sürece yer verilmiştir.



Görsel 1. Web Sayfalarından Tüketicilerin Online Market İle İlgili Şikayetlerinin Metin Verileri Olarak Toplamak için Düzenlenen Proses

RapidMiner kullanılarak veri toplama tamamlandıktan sonra, çevrimiçi markete ilişkin değerlendirme metinlerinde en sık rastlanan kelimeler belirlenmiştir. Şikâyetlere dair en çok geçen kelimeleri çıkarmaya yönelik kullanılan proses, Görsel 2’de gösterilmektedir.



Görsel 2. Online Market Alışverişinde Şikayetlerle ilgili En Sık Geçen Kelimeleri Belirlemek İçin Hazırlana Proses

Yukarıdaki Görsel 1 ve Görsel 2’nin de gösterdiği üzere, iş akışındaki her operatör özgül bir işlev üstlenmektedir. Süreç, kaynakların belirlenmesi amacıyla hedef web sayfalarının listelendiği Excel dosyasının yazılıma aktarılmasıyla başlar. Görsel 1’deki operatörlerden **Get Pages**, veri sayfasındaki her satırda yer alan URL’lere erişerek istenen içerik/özelliklerin elde edilmesini sağlar; **Data to Documents** elde edilen tabloyu bir belge (document) koleksiyonuna dönüştürür; **Process Documents** ise bu belge kümesi üzerinde metin işleme hattını yürütür. Görsel 2’deki adımlarda **Extract Content** HTML sayfalarından düz metni ayıklar; **Tokenize**

metni sözcük/biçim birimlerine böler; Transform Cases tüm harfleri küçük harfe çevirir; son aşamada Filter Tokens belirlenen uzunluk eşğine uymayan (çok kısa/çok uzun) sözcükleri filtreler. Böylece her operatör zincirde kendi görevini yerine getirerek veri toplama ve metin ön-işleme aşamalarının sistematik biçimde tamamlanmasına katkı sunar.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışma sonucunda online market alışverişi ile ilgili şikayetlerden 8.550 kelime içerisinde sorunlarla doğrudan ilişkili 64 tespit edilmiştir. Bu kelimelerden şikayetle ilgili en fazla teslim (887), sipariş (828), eksik (472) ve teslimat (396) kelimeleri kullanılmıştır. En çok geçen kelimeler ve sayıları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Dolap/Çekmece Kulpları ile İlgili olumlu ve olumsuz değerlendirmeleri içeren kelimeler ve sayıları

Kelimeler	Sayısı	Kelimenin Geçtiği Web Sayfası Sayısı
Teslim	887	65
Sipariş	828	57
Eksik	472	50
Teslimat	396	48
Ücret	174	33
Bozuk	148	32
İptal	115	30
Ödeme	125	29
Kırık	76	18
İndirim	32	11

Yukarıdaki Çizelge incelendiğinde online alışverişte tüketiciler en çok ürünlerinin teslimat ve siparişi ile ilgili sorunları olduğu söylenebilir.

Şikayetleri içeren kelime bulutu Görsel 3’de verilmiştir.

- [3] Hoang, D., & Breugelmans, E. Effects of substitution policy in online grocery retailing, *Journal of Retailing*, 99,1, 2023.
- [4] Ekren, B. Y., Perotti, S., Foresti, L., & Prativiera, L. Enhancing e-grocery order fulfillment: Improving product availability, cost, and emissions in last-mile delivery, *Electronic Commerce Research*, 24,2, 2024.
- [5] Silva, N., & Nilsson, F. Exploring the circular last mile: Reusable packaging in home delivery of food and groceries using a design science approach, *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 34, 2024.
- [6] McCullough, B. D., Mokfi, T., & Almaeenejad, M. On the accuracy of linear regression routines in some data mining packages, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 9,3, 2019.
- [7] Mikut, R., & Reischl, M. Data mining tools, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 1,5, 2011.
- [8] Javadpour, L. Using RapidMiner for executing queries and visualization in a traditional database course, *Journal of Education for Business*, 97,4, 2022.

MACHINE LEARNING-BASED CLASSIFICATION OF CRYSTAL TYPES

Prof.Dr.Kinyas POLAT

Sinop University

kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

Prof.Dr.Selahattin BARDAK

Sinop University

sbardak@sinop.edu.tr-0000-0001-9724-4762

ABSTRACT

The physical and chemical properties of materials are determined mostly by their crystal symmetry. Therefore, classifying crystal structures correctly is important for experimental and computational studies in materials science. Traditional methods give high accuracy, but they are costly and time-consuming. In this study, machine learning algorithms were used to classify the four basic crystal structure types (cubic, orthorhombic, rhombohedral, and tetragonal). A dataset with an unbalanced class distribution containing approximately 770 samples was used. The cubic and orthorhombic classes are better represented. The rhombohedral and tetragonal classes are a little bit lower represented. Data preprocessing consists of the removal of same records, the placement of missing values with the median. Models were created using XGBoost algorithms. Results showed that the XGBoost model achieved with 78.7% accuracy and a ROC-AUC of 0.89. According to the confusion matrix, the cubic and orthorhombic classes were predicted with an accuracy of 91% and 70%, respectively. The accuracy was lower for rhombohedral and tetragonal classes and gave an accuracy of approximately 20–23%. Feature importance values showed that electronegativity differences, geometric tolerance factors, and ionic radii were the most important parameters for classification.

Key Words : Ensemble learning, Crystal structures, Machine Learning, Classification, XGBoost

1. INTRODUCTION

Classification of crystal structures [1] is an important area of research in materials science and solid-state physics. The arrangement in a crystal lattice determines material properties as electrical conductivity, magnetic order, optical response, ion transport, and mechanical strength [2]. Thus, crystal symmetries and phases are important for new functional materials.

Experimental techniques such as X-ray diffraction (XRD), neutron diffraction, and electron microscopy have been used to determine crystal structures [3,4,5]. Although, these procedures provide great accuracy, they are sometimes hindered by experimental limitations, high costs, and the inability to process large-scale information. In particular, distinguishing structurally

similar phases (such as orthorhombic and tetragonal) or analyzing systems with complex distortions poses significant challenges with traditional methodologies.

In recent years, artificial intelligence and machine learning methodologies have developed into powerful tools that enhance traditional procedures [6,7, 8]. Machine learning algorithms can solve complex patterns and structural connections that are not apparent through direct observation. This facilitates comprehensive categorization of crystal structures, providing new approaches into phase stability and structure-property correlations.

This study used machine learning techniques to classify four types of crystal structures of cubic, orthorhombic, rhombohedral, and tetragonal. Data preprocessing procedures included eliminating duplicate records, inserting missing values, and encoding features. Classification model was XGBoost [9].

The findings indicate that cubic and orthorhombic phases can be categorized with high accuracy. The rhombohedral and tetragonal phases have lower accuracy. The main reasons for this problem are the class imbalance in the dataset and the lack of distinguishing features. The results indicate that machine learning techniques yield positive results in crystal structure classification.

2. DATASET

The dataset used in this study contained four different crystal structures (cubic, orthorhombic, rhombohedral, and tetragonal) [10]. The dataset showed a significant imbalance between classes. The cubic and orthorhombic classes were widely represented, while the rhombohedral and tetragonal classes had a minimal number of examples. In the data preprocessing step, the same records were removed from the dataset, and missing values were completed with median or mean values. Fixed columns with zero variance or those that did not contribute to the model were eliminated. Categorical variables were quantified using label encoding, and continuous variables were scaled as necessary. These steps enabled more efficient use of features during the model training process and reduced the effects of the imbalanced dataset structure.

3. HYPERPARAMETER OPTIMIZATION

Hyperparameter optimization was performed to improve model performance. In the first stage, parameters such as the optimal number of trees (`n_estimators`), maximum depth (`max_depth`), and minimum number of samples per leaf (`min_samples_leaf`) were searched using `GridSearchCV`. The focus was on learning rate, maximum depth (`max_depth`), subsample, column sampling rate (`colsample_bytree`), and regularization coefficients (`reg_alpha`, `reg_lambda`). Cross-validation methods were used to evaluate the parameters, and it was observed that XGBoost provided higher accuracy and ROC-AUC values. This indicates that the model's ability to capture complex relationships in the dataset increased with the optimization process.

4. MODEL DEVELOPMENT

The final model was developed following dataset preprocessing and hyperparameter optimization. The XGBoost model performed overall accuracy (78.7%) and ROC-AUC (0.89).

During the model development process, a training-test split of 80%–20% was achieved, and performance metrics included accuracy, F1 score, recall, precision, and Matthews Correlation Coefficient (MCC). Furthermore, the generalization ability of the model was evaluated by analyzing learning curves and ROC curves. The results revealed that cubic and orthorhombic structures classified with high accuracy. Rhombohedral and tetragonal classes were poorly classified due to insufficient data. In this respect, the developed model gives good results in the classification of crystal structures. However, feature engineering studies could make it better.

5. RESULTS

5.1. Performance metrics

The performance metrics show how well the model performs classification. A summary of the calculated metrics by the XGBoost model is given in Table 1. According to the table, about one in eight samples was misclassified, which means that the accuracy was 78.7%. The average cross-validation (CV) accuracy was 78.1% (± 1.7), which shows that the model is able to generalize well. The Matthews Correlation Coefficient (MCC) value was determined to be 0.58, indicating moderate to good performance. The learning curve showed that the model remembered all of the training data (100% training accuracy), but the accuracy of cross-validation stayed between 70% and 79%. This means that the model might be a little too good at fitting the data.

Table 1. Total metrics produced by the model

Metrics	Value
Accuracy	0.7867
Balanced Accuracy	0.5134
Precision (Macro)	0.598
Precision (Weighted)	0.7691
Recall (Macro)	0.5134
Recall (Weighted)	0.7867
F1 (Macro)	0.541
F1 (Weighted)	0.774
Matthews Corrocoef	0.5817
ROC AUC OVR (Macro)	0.8885
ROC AUC OVR (Weighted)	0.8979
CV Accuracy (Mean)	0.7815

The ROC-AUC value of the XGBoost model was obtained as 0.89, indicating that the model has strong discriminatory capacity between classes. An examination of the ROC curves reveals that the AUC values for each class are above 0.85. Cubic and orthorhombic structures exhibit particularly high discriminability, while theoretically good results have also been obtained for rhombohedral and tetragonal classes. However, in practice, poor recall values in underrepresented classes (rhombohedral and tetragonal) make accurate classification of these

classes difficult. Therefore, it is understood that class-based performance varies due to data imbalance.

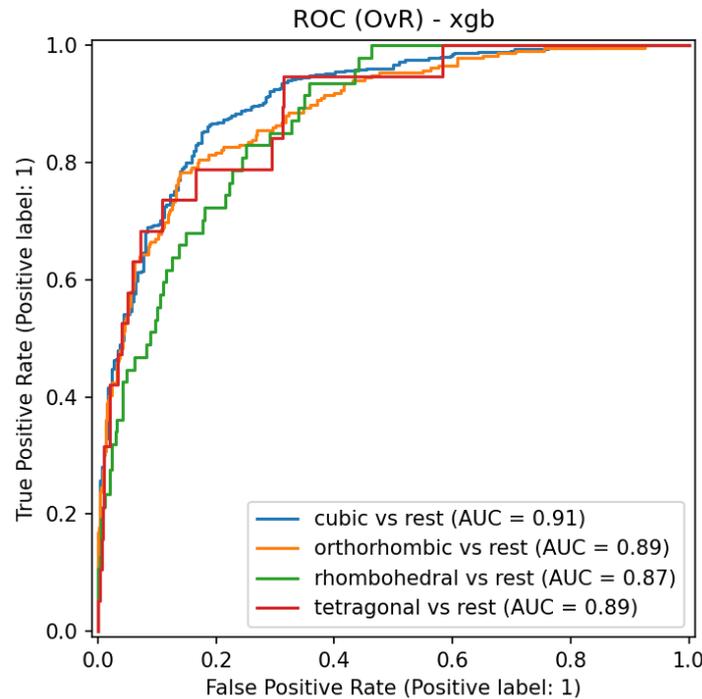


Figure 1. ROC Curve

5.3 Confusion matrix

The confusion matrix analysis shows exactly in which classes the model is better and in which ones it is less better. The results showed that cubic structures could be predicted with a high level of accuracy. Out of 467 samples, 425 were correctly classified, giving a recall value of 91%. Most misclassifications were orthorhombic. This result indicates that the model was able to pick up on the characteristics that make cubic symmetry different.

Orthorhombic structures were successful. About 70% of the samples were correctly classified, which means that 165 out of 236 were correctly predicted. A large number of the other samples were mistaken for cubic. This phenomenon is because cubic and orthorhombic symmetries are very close to each other in the feature space.

On the other hand, rhombohedral structures did not do very well. Only 11 out of 47 samples were correctly predicted (23% recall), and most of them were incorrectly labeled as cubic or orthorhombic. Tetragonal structures didn't do well either; only 4 of the 19 samples were correctly classified (21% recall), and the rest were moved to cubic or orthorhombic.

The confusion matrix analysis shows that the model was successful in identifying classes that were heavily represented (cubic and orthorhombic). But it made some errors when classifying small sample sizes and classes that were structurally similar (rhombohedral and tetragonal). This indicates the imbalance in the dataset. The similarities in the classes limit the model's performance.

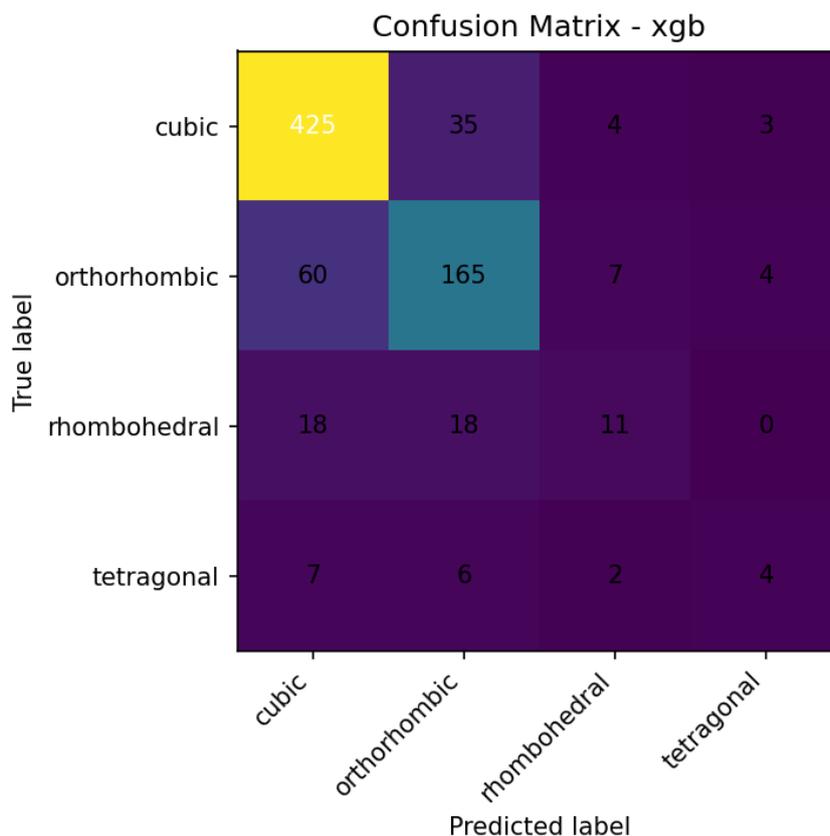


Figure 2. Confusion Matrix

5.4. Importance of features

Permutation-based significance analysis revealed the features mostly utilized by the model in classification decisions. EN(A) and EN(B) (electronegativity of cations A and B) are ranked first, playing an important contribution in determining the crystal structure in terms of bond character and ionic/covalent affinity. tG (geometric tolerance factor), ranked third and explains the distinction between cubic and orthorhombic structures by indicating lattice conformation. R(AVI), ranked fourth, is the 6-coordinate ionic radius of cation A; the size difference between the ions directly affects crystal symmetry. Δ ENR (electronegativity difference) is also an important parameter, reflecting the degree of ionicity of the bond type. l(B–O) and l(A–O) represent the cation–oxygen bond lengths and play a decisive role in lattice distortion. r(AXII) (the 12-coordinate radius of cation A) and r(BVI) (the 6-coordinate radius of cation B) are also important geometric parameters that affect the stability of the structures.

The lower-ranking τ (distortion parameter) represents the degree of crystalline symmetry, while $v(A)$ and $v(B)$ represent the valence states of cations A and B. Although μ (the average parameter), which is ranked last, is of relatively low significance, it contributes to the overall predictive power of the model. In general, the features the model prioritizes are consistent with chemical intuition: electronegativity, ionic radii, and geometric factors are the primary factors determining crystal symmetry. This demonstrates that the machine learning approach aligns with the materials science literature and accurately captures physical realities.

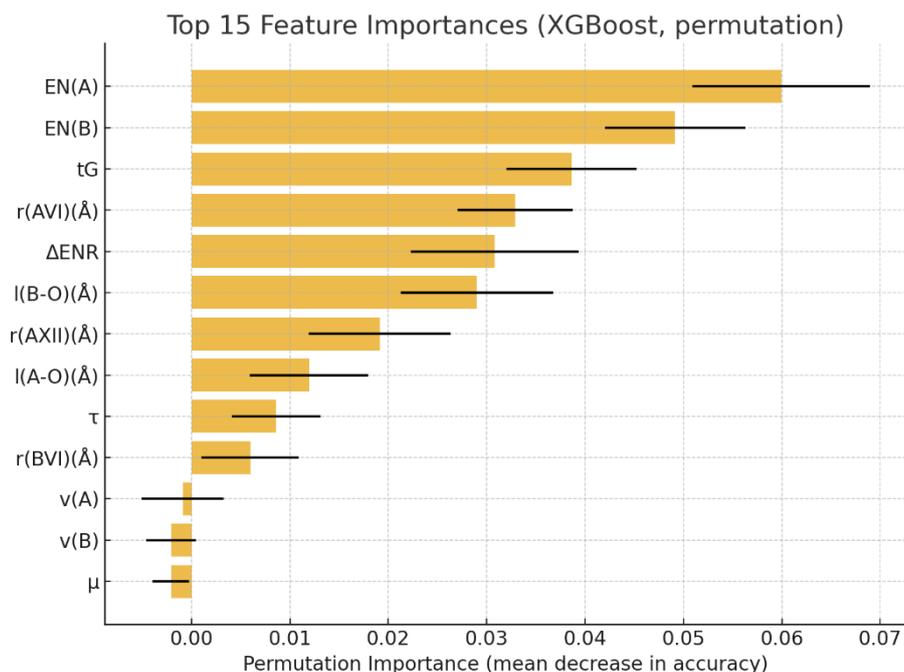


Figure 3. Importance of Features

6. CONCLUSION

In this study, a machine learning model was used for the classification of four basic crystal structure types (cubic, orthorhombic, rhombohedral, and tetragonal), and different algorithms were evaluated. The XGBoost model produced good results with an accuracy rate of 78.7% and an ROC-AUC of 0.89. These metrics demonstrate that the model generally has strong discrimination between classes. But its performance is limited, particularly in underrepresented classes.

Cubic and orthorhombic structures were successfully classified with high accuracy and recall values. Cubic structures reached 91% recall, and orthorhombic structures reached 70% recall. However, a significant performance decrease was observed in the rhombohedral (23% recall) and tetragonal (21% recall) classes. Confusion matrix results also confirm this pattern. These classes, which contain a small number of examples, are often confused with cubic or orthorhombic. The main reasons for this are the significant structural similarities between classes, unbalanced class distributions, and the model's inability to adequately learn underrepresented categories.

Feature importance analyses revealed which parameters the model prioritizes in its decision-making process. Electronegativity values [EN(A), EN(B)], geometric tolerance factor (tG), and ionic radii [r(AVI), r(AXII), r(BVI)] were the most critical parameters. Bond lengths (l(A–O), l(B–O)) and the distortion parameter (τ) were also found to be effective in distinguishing common classes such as cubic and orthorhombic. These results demonstrate that machine learning models can make predictions in accordance with chemical perception and experimental observations in materials science.

The findings demonstrate that machine learning is a successful method for crystal structure classification. However, lower performance for underrepresented classes demonstrates that there is an imbalance in the dataset. Structural similarities hinder class separation. Therefore, future studies could use data augmentation methods to reduce class imbalance and application of feature engineering techniques. Furthermore, the use of deep learning-based models and the development of hybrid approaches could enhance the model's generalization ability.

In conclusion, this study demonstrated that crystal structures can be classified using machine learning methods, that the model can distinguish dominant classes with high accuracy. However, improving performance for rare classes will remain one of the most important problem.

REFERENCES

1. Gorter, E. W. (1970). Classification, representation and prediction of crystal structures of ionic compounds. *Journal of Solid State Chemistry*, 1(3-4), 279-305.
2. Newnham, R. E. (2012). *Structure-property relations* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
3. Cheetham, A. K., & Wilkinson, A. P. (1992). Synchrotron X-ray and Neutron Diffraction Studies in Solid-State Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 31(12), 1557-1570.
4. Li, J., & Sun, J. (2017). Application of X-ray diffraction and electron crystallography for solving complex structure problems. *Accounts of chemical research*, 50(11), 2737-2745.
5. Zou, X., Hovmöller, S., & Oleynikov, P. (2011). *Electron crystallography: electron microscopy and electron diffraction* (Vol. 16). Oxford University Press.
6. Ryan, K., Lengyel, J., & Shatruk, M. (2018). Crystal structure prediction via deep learning. *Journal of the American Chemical Society*, 140(32), 10158-10168.
7. Ziletti, A., Kumar, D., Scheffler, M., & Ghiringhelli, L. M. (2018). Insightful classification of crystal structures using deep learning. *Nature communications*, 9(1), 2775.
8. Graser, J., Kauwe, S. K., & Sparks, T. D. (2018). Machine learning and energy minimization approaches for crystal structure predictions: a review and new horizons. *Chemistry of Materials*, 30(11), 3601-3612.
9. Chen, T., He, T., Benesty, M., Khotilovich, V., Tang, Y., Cho, H., ... & Zhou, T. (2015). Xgboost: extreme gradient boosting. *R package version 0.4-2*, 1(4), 1-4.
10. Meetnagadia. (n.d.). *Crystal Structure Dataset* [Data set]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/meetnagadia/crystal-structure-dataset>

CLASSIFICATION OF CHRONIC KIDNEY DISEASE DATASET BY MACHINE LEARNING

Prof.Dr.Selahattin BARDAK

Sinop University

sbardak@sinop.edu.tr-0000-0001-9724-4762

Prof.Dr.Kinyas POLAT

Sinop University

kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

ABSTRACT

Chronic kidney disease (CKD) is one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide. Early diagnosis is crucial for slowing disease progression. Although, widely used diagnostic methods such as biochemical tests and imaging techniques provide high accuracy, the need for automated clinical prediction increases as data volume increases. In this study, the XGBoost machine learning model was investigated for the classification of CKD. The raw dataset was first cleaned, missing values were placed with the median for numerical variables and the most frequent value for categorical variables, and categorical variables were quantified. The model achieved 93.7% accuracy, 94.3% cross-validation accuracy, and a Matthews Correlation Coefficient (MCC) of 0.53. ROC-AUC values were calculated as 0.95 for both CKD and non-CKD classes. It indicates the high discriminatory power of the model. The confusion matrix showed that the model was successful in the CKD class (298/305 correct) but performed somewhat poorly in the non-CKD class. Urinary Tract Infections (UTIs) was the most significant contributors. It confirms the effect of infections in the chronic kidney disease. This was followed by direct renal function indicators such as Glomerular Filtration Rate (GFR), Serum Creatinine, and Blood Urea Nitrogen (BUN Levels). In conclusion, the proposed XGBoost-based model offers a highly accurate tool for use in clinical decision support systems.

Key words : Machine Learning, XGBoost, Kidney disease, Early diagnosis, Ensemble Learning

1. INTRODUCTION

Chronic kidney disease (CKD) is one of the leading chronic diseases [1]. CKD leads to the need for dialysis or kidney transplantation, and high mortality rates. Approximately 10% of the adults worldwide are affected by CKD. The aging population and the increasing prevalence of diabetes and hypertension underline the impact of CKD on both individual quality of life and health economics.

Early diagnosis is important to slow the progression of CKD and reduce its complications. Traditional diagnostic methods include biochemical markers (serum creatinine, blood urea nitrogen [BUN], glomerular filtration rate [GFR]), urinalysis (proteinuria, hematuria), and

imaging [2]. The tests produce reliable results, but have some limitations due to the diversity, heterogeneity, and multidimensionality of clinical data. The large number of false-negative results in the diagnosis of early-stage patients necessitates more robust decision-making systems.

In recent years, machine learning and artificial intelligence-based methods have become widely used in the analysis of clinical data. Machine learning can model complex relationships in multidimensional and high-volume datasets [3]. It may reveal patterns that may be neglected by classical methods. Tree-based methods are useful in this respect. It shows high classification performance and ability to interpret variable significance. Extreme Gradient Boosting (XGBoost) [4,5,6,7,8], one of the most prominent algorithms in recent years, offers advantages in terms of its ability to handle imbalanced datasets, speed, flexibility, and generalization power.

In the current study, a classification model was developed using the XGBoost algorithm using a chronic kidney disease dataset. The study consists of the stages of pre-processing and appropriate modeling of the data, calculation of metrics such as accuracy, ROC-AUC, MCC and cross-validation, and analysis of the importance levels of features such as creatinine, GFR, BUN, and proteinuria in the model outputs. Thus, the findings obtained are aimed to support healthcare professionals in early diagnosis processes and contribute to the development of intelligent decision support systems that can be used in patient follow-up.

2. DATASET

The dataset [9] used in this study contains clinical and laboratory parameters commonly used in the diagnosis of chronic kidney disease (CKD). The dataset contains numerical and categorical variables. It requires the use of preprocessing methods. Numerical variables include age, blood pressure, urine density, blood sugar, urea, creatinine, hemoglobin, sodium, potassium, white and red blood cell counts. Categorical variables include red blood cell status, the presence of leukocytes in urine, bacterial counts, hypertension, diabetes, coronary artery disease, appetite, anemia, and edema. The target variable, the class column, allows patients to be classified as "CKD" (diseased) or "non-CKD" (healthy). This diversity allows the model to make more reliable predictions by considering both clinical symptoms and laboratory values, rather than relying solely on a single type of data. However, because the dataset contained unbalanced class distribution and missing values, addressing these issues during the modeling process was critical. Therefore, in preparing the dataset for machine learning, appropriate methods were used to fill in missing data, quantify categorical variables, and scale them.

2.1. Preprocessing

The dataset used in the study was preprocessed before being applied to machine learning algorithms. The missing values in the dataset were identified and filled. The median value was used for numerical columns, and the most frequent class was used for categorical columns. The categorical variables in the dataset were converted to numerical format to enable inclusion in the model's learning process. The target column was normalized, creating a binary classification problem between the CKD and "not CKD" classes. During this process, the class distributions were found to be unbalanced; the number of samples for the CKD class was significantly higher. Therefore, the effect of imbalance was mitigated by using the class weight parameters during the training phase. The columns that were not meaningful for the model were removed from the analysis. This reduced noise and increased computational efficiency.

2.2. Features

The dataset contains numerous clinical and laboratory-based characteristics belong to the diagnosis of chronic renal disease. Age, blood pressure, specific gravity, albumin, sugar, blood urea, serum creatinine, hemoglobin, packed cell volume (hematocrit), white blood cell count (WBC count), and red blood cell count (RBC count) are all numerical features. These variables are biochemical and hematological markers of renal function. They give information about disease development. Red blood cells, pus cells (WBC count), bacteria, high blood pressure, diabetes mellitus, coronary artery disease, hunger, anemia, and edema are all examples of categorical traits.

2.3. Hyperparameter optimization

To achieve high accuracy in machine learning models, it is essential to optimize the model's hyperparameters. This study employed the XGBoost algorithm, a tree-based method characterized by many hyperparameters. The settings include learning rate, max depth, number of estimators, subsample, and colsample bytree.

GridSearchCV and cross-validation were used to evaluate various hyperparameter combinations and identify the best ones. The optimization yielded a moderate learning rate, regulated tree depth, and balanced sample rates, increasing the model's generalization and improving metrics such as accuracy, F1 score, and ROC-AUC. The findings indicate that selecting appropriate hyperparameters yields exceptional accuracy on training data.

3. MODEL DEVELOPMENT

This study aims to develop a model to correct classification of chronic renal disease. The dataset was cleaned of missing values. The variables were formatted, and numerical ones normalized. This process reduced the effects of distorted data on the model's learning process.

The XGBoost method was selected for classification. For it is being very accurate at making predictions, especially with complex and multidimensional datasets. Dataset were split as the training and testing. The model learned from the training dataset, and cross-validation methods were used to test how well it could generalize. Additionally, hyperparameter optimization was employed to determine the optimal learning rate, tree depth, and other parameters for the model performance. In the concluding phase, the model's efficacy was assessed through the computation of several performance metrics, including accuracy, F1 score, ROC-AUC, Matthews correlation coefficient (MCC), and confusion matrix. The result show that the XGBoost model provides a reliable method for diagnosing chronic kidney disease.

4. RESULTS

4.1. ROC Curve

In this study, the ROC (Receiver Operating Characteristic) plot (Figure 1.) and related AUC (Area Under the Curve) values were calculated for identifying the model's classification performance. The ROC curve compares the sensitivity and specificity performance. A curve close to the upper left corner indicates that the model can distinguish positive and negative classes with high accuracy. According to the results, the ROC plot for the XGBoost model demonstrated good performance. The AUC value was 0.95, indicates the model's ability to

distinguish positive (chronic kidney disease) and negative (healthy) individuals despite imbalances in class distribution.

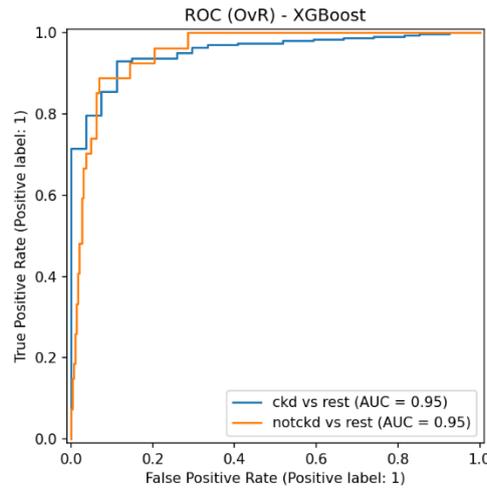


Figure 1. ROC Curve

4.2. Confusion Matrix

A confusion matrix was employed as in the Figure 2. to analyze the model's performance in greater detail. This method illustrates that the model makes accurate prediction. The matrix consist of components as True Positive (TP), individuals accurately identified as unhealthy; True Negative (TN), individuals accurately identified as healthy; False Positive (FP), individuals initially healthy but misclassified as unhealthy; and False Negative (FN), individuals initially unhealthy but misclassified as healthy.

The XGBoost model demonstrated high accuracy in identifying persons with chronic renal disease. This indicates a substantial TP count. A good success was obtained in the classification of healthy persons with a high true negative rate. FP and FN values were noted in a few number. False positives result in healthy individuals to be classified as unhealthy, but false negatives lead to the neglect of unhealthy patients. The confusion matrix enables the assessment of the model's overall accuracy and its performance across various classes. The results demonstrates that XGBoost is dependable for differentiating chronic kidney illness. However, further optimizations may be necessary to decrease the false negative rate.

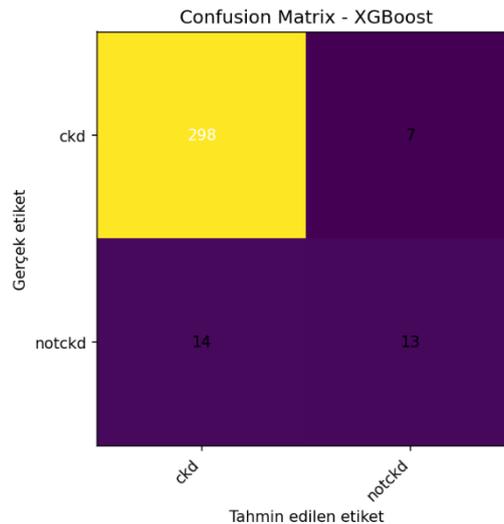


Figure 2. Confusion Matrix

4.3. Importance of Features

The feature importance provides important information about the clinical and biochemical parameters. All the features and their importance are plotted in Figure 3. The XGBoost model reveals which clinical and biochemical variables is important in its decision-making process. The results show that Urinary Tract Infections (UTIs) was the most significant contributors. It confirms the effect of infections in the chronic kidney disease. This was followed by direct renal function indicators such as Glomerular Filtration Rate (GFR), Serum Creatinine, and Blood Urea Nitrogen (BUN Levels). The prominence of these parameters demonstrates that the model successfully captured biologically significant markers. Furthermore, the significance levels of variables related to clinical symptoms such as ProteinInUrine, Itching, and MuscleCramps demonstrate that the model considers not only laboratory data but also the patient's clinical profile. Additionally, the significant contributions of medical history and treatment factors such as FamilyHistoryDiabetes, PreviousAcuteKidneyInjury, and AntidiabeticMedications to the model's decision-making process support the multifactorial nature of chronic kidney disease. In the end, the results show that the classification performance of the XGBoost model is not only statistically strong but also clinically consistent and in with biological facts.

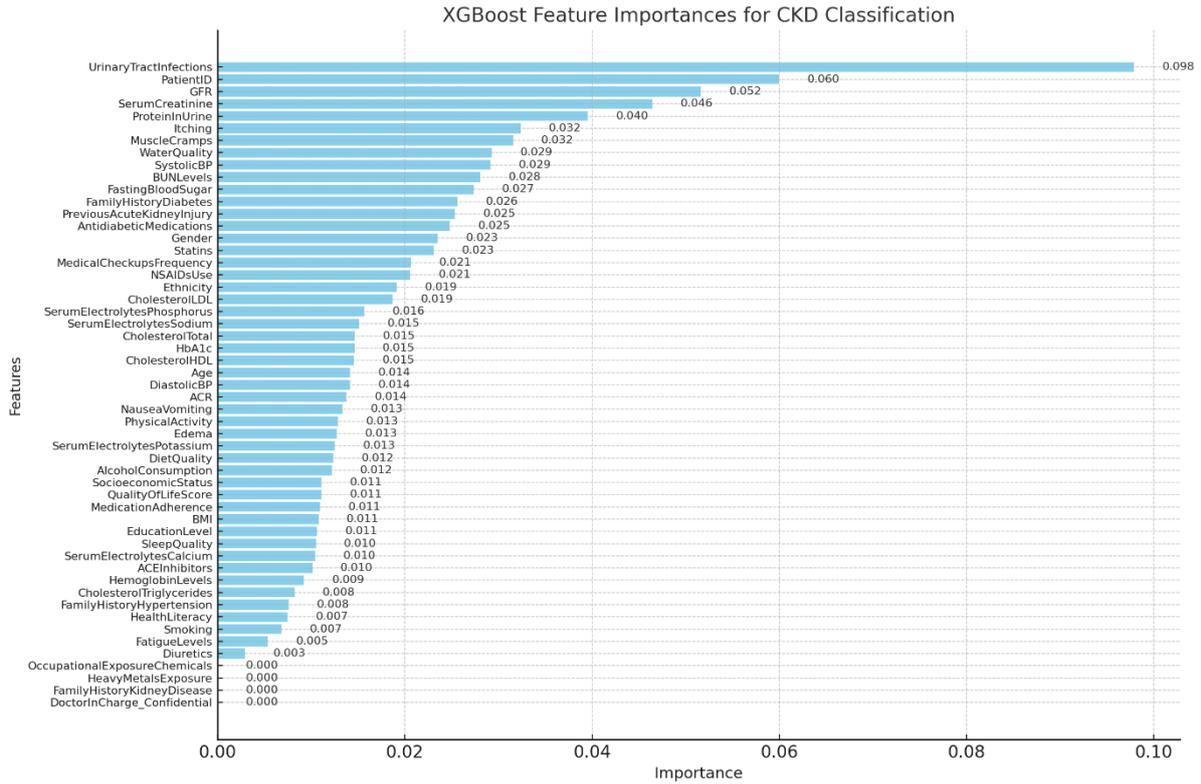


Figure 3. Importance of Features Map

4.4. Metrics

The evaluation of the model's performance using diverse metrics as summarized in Table 1. yielded exceptionally strong findings. The overall accuracy percentage was 93.7%, indicating that the model successfully classified the majority of instances. The precision of 80.2%, recall of 72.9%, and an F1-score of 75.9%, underline the influence of class imbalance on performance. The Weighted metrics indicated elevated values with 93.0% precision, 93.7% recall, and 93.2% F1-score. CKD was the dominating class, and the model performed well. Considering the inter-class imbalance, the Matthews Correlation Coefficient was calculated as 0.53, indicating moderate-to-high reliability. Cross-validation results showed an accuracy of 94.3% (± 0.39), demonstrating the robustness of the model's generalization ability. The confusion matrix shows that 298 of the 305 samples were correctly predicted as CKD. However, only 13 of 27 non-CKD samples were correctly identified. This result indicates that the model correctly identified patients with disease. But it did not distinguish healthy individuals with the same accuracy. The XGBoost model provides high accuracy and strong generalization.

The accuracy rate was 93.7%, indicating that approximately 94 out of every 100 samples were correctly classified. The macro sensitivity was 80.2%, the macro recall was 72.9%, and the macro F1 score was 75.9%. This indicates moderate success in classes with unbalanced distributions. In contrast, metrics that take class imbalance into account are much more robust. The weighted precision was of 93.0%, weighted sensitivity of 93.7%, and weighted F1-score of 93.2%. This results demonstrate the model can distinguish the dominant CKD group with high accuracy.

The Matthews Correlation Coefficient (MCC) score was 0.53, signifying that the model exhibited balanced efficacy, as this metric considers class imbalance. The cross-validation accuracy was 94.3% (± 0.39), demonstrating consistent results with a minimal margin of error. The examination of the confusion matrix further corroborates these findings: Out of 305 samples, 298 were accurately predicted in the CKD category (recall $\approx 97.7\%$), while only 13 of 27 samples were correctly identified in the not-CKD category (recall $\approx 48.1\%$). The model demonstrated high accuracy in identifying the unhealthy persons. However its performance in detecting the healthy individuals was constrained by the limited number of classes. The XGBoost model has been quantitatively validated as an effective instrument for identifying the chronic kidney disease, exhibiting excellent sensitivity proving clinically dependable performance.

Table 1. Summary of the Model's metrics

Metric	Value
Accuracy	0.9367
Balanced Accuracy	0.7293
Precision (Macro)	0.8026
Precision (Weighted)	0.9303
Recall (Macro)	0.7293
Recall (Weighted)	0.9367
F1 Score (Macro)	0.7596
F1 Score (Weighted)	0.9324
Matthews Corr. Coef.	0.5268
Cross-Validation Accuracy (Mean)	0.9427
Cross-Validation Accuracy (Std)	0.0039

5. CONCLUSION

In this study, a machine learning model based on the XGBoost algorithm was developed and evaluated in detail for the classification of chronic kidney disease. Analyses showed that the model's overall accuracy was 93.7%, meaning it could correctly classify approximately 94 out of every 100 samples. Cross-validation results (94.3% $\pm 0.39\%$) confirm that this success was not accidental and that the model's generalization ability was high. However, macro-based metrics (precision 80.2%, recall 72.9%, F1 score 75.9%) revealed the effects of class imbalance; low performance was observed, particularly in the class consisting of healthy individuals. In contrast, the weighted metrics (precision 93.0%, recall 93.7%, F1 score 93.2%) showed that the model achieved high success in the predominant class, the CKD group. The confusion matrix results revealed that 298 out of 305 patients in the CKD class were correctly classified, with a recall rate of 97.7%, a very high level. In contrast, only 13 out of 27 individuals in the not-CKD class were correctly predicted, with a recall rate of 48.1%. This finding demonstrates that the model can reliably identify diseased individuals, but exhibits limited success in healthy individuals. The Matthews Correlation Coefficient (MCC) value of 0.53 also demonstrates that the model offers moderate-to-high reliability despite the class imbalance.

Feature importance demonstrated that biochemical parameters such as the serum creatinine, blood urea, and hemoglobin are important in disease prediction. The variables such as hypertension and diabetes also contribute significantly. This study shows that machine

learning-based models are powerful decision-support tools for the early diagnosis of chronic kidney disease. The model makes a valuable contribution to clinical practice by identifying a patient group with very high sensitivity. However, to more accurately classify healthy individuals addressing class imbalance and use larger and more balanced datasets is necessary. It is anticipated that future performance can be further improved by integrating additional features, comparing different algorithms, and developing hybrid models.

REFERENCES

1. Cockwell, P., & Fisher, L. A. (2020). The global burden of chronic kidney disease. *The lancet*, 395(10225), 662-664.
2. Kumahor, E. K. (2023). The biochemical basis of renal diseases. In *Current trends in the diagnosis and management of metabolic disorders* (pp. 185-200). CRC Press.
3. Fatima, M., & Pasha, M. (2017). Survey of machine learning algorithms for disease diagnostic. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 9(01), 1-16.
4. Sankar, S., Potti, A., Chandrika, G. N., & Ramasubbareddy, S. (2022). Thyroid disease prediction using XGBoost algorithms. *Journal of Mobile Multimedia*, 18(3), 917-933.
5. Ogunleye, A., & Wang, Q. G. (2018, June). Enhanced XGBoost-based automatic diagnosis system for chronic kidney disease. In *2018 IEEE 14th International Conference on Control and Automation (ICCA)* (pp. 805-810). IEEE.
6. Raihan, M. J., Khan, M. A. M., Kee, S. H., & Nahid, A. A. (2023). Detection of the chronic kidney disease using XGBoost classifier and explaining the influence of the attributes on the model using SHAP. *Scientific Reports*, 13(1), 6263.
7. Chang, H. H., Chiang, J. H., Tsai, C. C., & Chiu, P. F. (2023). Predicting hyperkalemia in patients with advanced chronic kidney disease using the XGBoost model. *BMC nephrology*, 24(1), 169.
8. Lin, Y., Gao, J., Chen, L., Hong, Y., Li, M., Chen, P., & Shang, X. (2025). An interpretable XGBoost model for risk prediction of progression from sepsis-associated acute kidney injury to chronic kidney disease. *Informatics in Medicine Unlocked*, 101685.
9. Rabieelkharoua. (2024). *Chronic Kidney Disease Dataset* [Data set]. Kaggle. URL

INCREASING ENERGY EFFICIENCY WITH ARM-BASED PROCESSORS USING ESP32 AND PZEM

OGÜN GÖNEN

Öztaş Global Cooling, Türkiye, ogungonen@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-0329-9898

MOHAMMAD RUHUL AMIN BHUIYAN

Islamic University, Bangladesh, mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

HAYATİ MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Türkiye, hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

This study proposes a system design using the STM32F407 microcontroller, ESP32 microcontroller, and PZEM energy measurement module to increase energy efficiency. These system elements communicate using the UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) protocol. Increasing energy demands and environmental impacts necessitate optimizing energy efficiency. ARM-based processors offer efficient solutions in energy management systems by offering low power consumption and high processing capacity. ESP32 facilitates data transmission with Wi-Fi and Bluetooth features, while the PZEM module measures instantaneous power consumption, voltage, current, and energy values, providing crucial data to ensure efficient system operation. The integration of these technologies optimizes energy consumption monitoring and management, allowing users to track energy use with real-time data. Furthermore, the system's software enables data analysis and strategies to encourage more efficient energy use. By discussing how such systems can be implemented in commercial and industrial applications, the study makes significant contributions to energy efficiency.

Keywords: STM32, ESP32, IoT, MQTT Protocol, PZEM.

1. INTRODUCTION

Energy efficiency has become one of the most important research areas in today's technologies, both in terms of reducing environmental impacts and providing economic benefits. Problems such as increasing energy consumption, fossil fuel depletion, and environmental pollution necessitate the development of systems that encourage more efficient energy use. In this context, energy monitoring and management systems, along with the Internet of Things (IoT), play a critical role in optimizing energy consumption [1].

ARM-based processors offer an ideal solution for such systems, offering low power consumption and high processing capacity. Microcontrollers are integrated with various sensors and form the core components of energy monitoring systems. The ESP32 is a microcontroller capable of meeting data transmission and remote-control needs with its powerful processor features, Wi-Fi, and Bluetooth connectivity options. This microcontroller offers significant advantages for real-time energy monitoring and management. Furthermore, the ESP32 communicates with other devices via the UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) protocol [2]. The STM32F407 and the PZEM module communicate using the UART protocol [3]. UART offers a simple, low-cost, and fast solution for data transmission. This protocol allows the ESP32 to communicate with the STM32F407 processor to receive and process incoming data.

The PZEM module, a key component in energy monitoring, accurately measures power consumption, voltage, current, and energy values, allowing for analysis of this data. This data, transmitted to ESP32 using the UART protocol, is used to monitor and optimize system performance.

The MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol is used for sharing and remote access to energy data [4]. MQTT, with its low bandwidth requirements, low power consumption, and fast data transmission, is an ideal communication protocol for energy monitoring and control systems [5]. ESP32 enables remote monitoring and control by transmitting energy data to a server or cloud using MQTT [6]. This protocol facilitates the instantaneous collection, processing, and notification of data to the user when necessary.

The aim of this study is to present the design of real-time energy monitoring and efficiency improvement systems by combining ARM-based processors with ESP32 and PZEM modules [7]. By communicating via UART and sharing data via MQTT, energy consumption can be optimized, resulting in more sustainable and cost-effective solutions [8]. Furthermore, practical solutions for energy efficiency are proposed, discussing how such systems can be integrated into commercial and industrial applications.

2. MATERIAL AND METHODS

The main materials used in this study are the STM32F407, ESP32, and PZEM modules, while the required communication protocols are UART and MQTT. The system block diagram is shown in Figure 1.

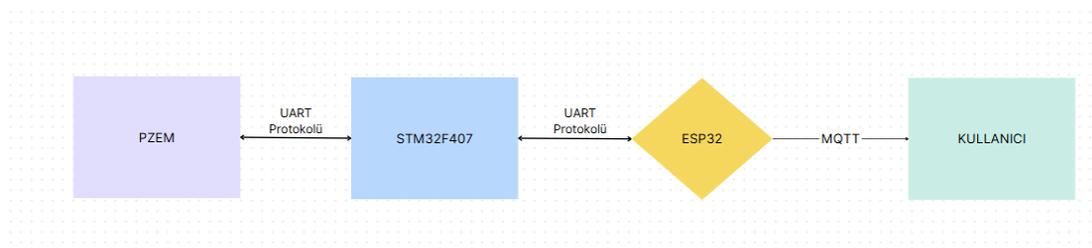


Figure 1. Block diagram of the system

In this study, the STM32F407 microcontroller reads voltage, current, energy, and frequency data from the PZEM module and transmits the read data to the ESP32 processor via the UART protocol. A Wi-Fi connection was used to connect the ESP32 module to the internet. After the internet connection was established, connections were established between the MQTT Broker and ESP32, and the data was transmitted to the user.

In this system, which uses the STM32F407VGT6 DISC-1 board, the required pins and peripherals for the project were configured using the STM32CUBEIDE. The configured peripherals are the HSE (High Speed Clock) Crystal/Ceramic Resonator, UART4, and UART5. The processor frequency was set to 8 MHz in the clock configuration. The baud rate for the UART5 protocol was set to 9600. The baud rate for the UART4 protocol was set to 115200. Word lengths were set to 8 bits, stop bits were set to 1, and sample overruns were defined as 16 samples. After configuring the microcontrollers used, the electrical connections of the system were established as shown in Figure 2.

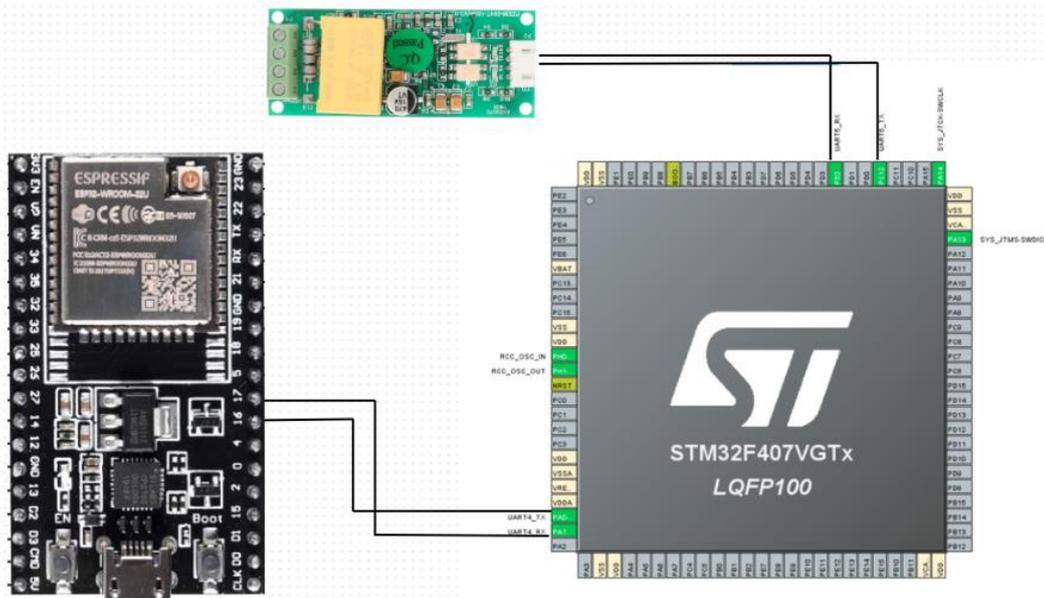


Figure 2. System setup

The most important points to consider when making connections are the UART protocol connections. The UART4 connection used to communicate between the ESP32 and the STM32F407 is to connect the “RX (PA1)” pin of the STM32F407 to the “TX (17)” pin of the ESP32, and the “TX (PA0)” pin of the STM32F407 to the “RX (16)” pin of the ESP32. For the communication system to function properly, it is essential to ensure that the “GND” terminals of both processors are shared. Once UART4 communication is complete, the ESP32 is connected to the internet network. The internet network must be at 2.4 GHz. The connection is then made to the MQTT Broker.

The UART5 connection used to communicate between the PZEM module and the STM32F407 is to connect the "RX (PD2)" pin of the STM32F407 to the “TX” pin of the PZEM, and the “TX (PC12)” pin of the STM32F407 to the “RX” pin of the PZEM. For the communication system to function properly, it is essential to ensure that the “GND” terminals of both processors

are shared. Once UART5 communication is complete, the PZEM module can begin to monitor system values such as voltage, current, power, energy, power factor, and frequency in real time.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, a system designed to increase energy efficiency was developed by integrating the STM32F407 microcontroller, the ESP32 microcontroller, the PZEM energy measurement module, and the UART and MQTT protocols used for communication. The results of the study lead us to the following conclusions and comments.

The STM32F407 microcontroller was able to monitor instantaneous power consumption, voltage, current, and total energy values using data received from the PZEM module via the UART protocol. This data provides sufficient information for monitoring energy efficiency. By monitoring the system's energy consumption profiles, users can take appropriate measures to reduce unnecessary energy consumption.

ESP32 transmitted the measured energy data to a remote server using the MQTT protocol. This makes energy data easily accessible over the internet. Users can monitor their devices over the internet, record, and analyze their energy consumption in real time. MQTT's low bandwidth and low energy consumption features contributed to the system's efficient operation.

The system provided real-time data on energy consumption, helping users optimize their energy use. Remote access identified periods of inefficient energy use and sent alerts using predefined algorithms. This could lead to significant cost savings, particularly in commercial and industrial applications.

The developed system can be easily integrated with different devices and different energy measurement modules. ESP32's robust hardware capabilities and software flexibility provide significant advantages in adapting the system to various energy monitoring projects. This offers great potential for expanding the project to various energy management systems.

The results obtained in the study indicate that several improvements can be made to increase the overall efficiency of the system. For example, energy efficiency can be further increased by using more sensitive sensors and more efficient algorithms. Furthermore, with more powerful data analytics tools, long-term energy consumption forecasts can be made and recommendations that increase energy efficiency can be developed.

This project highlights the importance of energy monitoring systems in commercial and industrial settings. The low-cost and efficient nature of the ESP32 allows for widespread use to improve energy efficiency. Furthermore, the UART protocol enables fast and reliable communication between devices, while the flexibility and remote access provided by MQTT increase the feasibility of such projects. Going forward, such systems are expected to be implemented on a larger scale and integrated with more sophisticated energy management software.

4. CONCLUSIONS

In this study, a system aimed at increasing energy efficiency was designed using the STM32F407 microcontroller, the ESP32 microcontroller, and the PZEM-004T energy measurement module. Tests and analyses revealed that the system accurately monitors energy

consumption and provides data to increase efficiency. The developed system offers a low-cost solution while offering advantages such as real-time energy monitoring and remote control. This allows individual and corporate users to optimize their energy consumption habits and reduce their carbon footprint. ESP32's Wi-Fi and Bluetooth support facilitates integration with cloud-based systems, laying the foundation for a more comprehensive energy management platform. The results demonstrate that the PZEM-004T's reliable measurement capabilities and the high performance of ARM-based processors offer significant potential for energy efficiency solutions. Future research into the applicability of this study in diverse areas such as renewable energy systems and smart home applications will contribute to the development of more effective energy management solutions.

REFERENCES

- [1] Yalçinkaya, F., Aydılek, H., Erten, M. Y., & İnanç, N. (2020). IoT based smart home testbed using MQTT communication protocol. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(1), 317-324.
- [2] Taştan, M. (2019). Akıllı Ev Uygulamaları için Yeni Nesil IoT Denetleyici ile Gerçek Zamanlı Uzaktan İzleme ve Kontrol Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 481-487.
- [3] Mamur, H. (2023). STM32CubeIDE ile STM32F407 Programlama, *Nobel Yayınevi*.
- [4] Mısıır, O., & Gökrem, L. (2020). Nesnelerin İnterneti için MQTT ile Hiyerarşik Haberleşme. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, (12), 1-11.
- [5] Salama, M., & Raslen, B. (2024). MQTT in Action: Building Reliable and Scalable Home Automation Systems. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 7(3), 494-509.
- [6] Karaoğlu, H., Kabak, T., & Kırbaş, İ. (2024). A Case Study on Applying MQTT Communication to Improve Cold Storage Safety and Quality Management. *Turkish Journal of Health Science and Life*, 7(1), 33-45.
- [7] Aloglu, Y., Gönen, O., & Mamur, H. (2024). STM32 ve ESP32 ile MQTT kullanarak Flutter tabanlı IoT sistemi tasarımı ve uygulaması. In *Karadeniz 15th International Conference on Applied Sciences* (pp. 69–74). Academy Global Conferences.
- [8] Alioghli, A. A., & Yıldırım Okay, F. (2024). IoT-based energy consumption prediction using transformers. *Gazi University Journal of Science, Part A: Engineering and Innovation*, 11(2), 304–323.

INTELLIGENT REFRIGERATOR CONTROL BASED ON COOLING CYCLE OPTIMIZATION

OGÜN GÖNEN

Öztaş Global Cooling, Türkiye, ogungonen@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-0329-9898

YİĞİT ALOĞLU

Öztaş Global Cooling, Türkiye, aloglu14@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-6014-6126

MOHAMMAD RUHUL AMIN BHUIYAN

Islamic University, Bangladesh, mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

HAYATİ MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Türkiye, hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

This study focuses on the development of an Internet of Things (IoT) based monitoring and control system designed to enhance energy efficiency and enable early fault detection in commercial-type refrigerators. The proposed system dynamically optimizes the cooling cycle by monitoring critical parameters in real time, such as temperature, door status, and energy consumption. While data processing is carried out by an STM32 microcontroller, remote monitoring and control are achieved through the MQTT protocol using an ESP32 module. Thanks to anomaly detection, potential system faults can be identified at an early stage and reported to the user. The use of low-cost components -such as an NTC temperature sensor, reed switch, and PZEM-004T energy analyzer - ensures that the system remains both economical and modular in structure. This implementation provides significant contributions to commercial refrigeration systems by enabling energy savings, reducing maintenance costs, and improving operational continuity through remote access. Furthermore, the project presents a unique and scalable solution model for integrating IoT-based systems into refrigeration technologies.

Keywords: IoT, STM32, ESP32, PZEM-004T, commercial refrigeration, energy efficiency, MQTT, anomaly detection, embedded systems.

1. INTRODUCTION

Energy efficiency is no longer merely an option in today's industrial designs; it has become one of the fundamental requirements for economic sustainability and environmental responsibility. Commercial refrigeration systems, in particular, account for a significant share of electricity consumption due to their continuous operation 7/24. According to data from the European Commission, commercial refrigeration accounts for approximately 40% of the total energy consumption in the retail sector [1]. Therefore, the development of technologies aimed at

increasing energy efficiency in such systems not only reduces operational costs but also minimizes environmental impact by lowering carbon emissions. In recent years, Internet of Things (IoT)-based solutions have introduced a new paradigm in this field [2]. Thanks to IoT technologies, it has become possible to remotely monitor, control, and analyze the status of systems. This not only improves operational efficiency but also enables more intelligent maintenance processes. Studies have shown that IoT-enabled monitoring systems can achieve energy savings between 15% and 30% compared to traditional methods [3].

In line with this objective, the present study proposes a smart control system designed to replace the conventional fixed-control structures commonly used in commercial refrigerators with a dynamic, sensor-rich, and remotely accessible architecture [4]. The system monitors key parameters in real time - as temperature (NTC sensor), door status (reed switch), and energy consumption (PZEM-004T energy module - and applies decision-making algorithms based on data processed by an STM32 microcontroller [5]. The collected data is transmitted to cloud-based platforms via the MQTT protocol through an ESP32 module, enabling real-time system monitoring and remote access [6]. This architecture not only enables optimization of the cooling cycle but also supports the feasibility of predictive maintenance through anomaly detection. Anomaly detection identifies behaviors that deviate from the system's normal operating profile - such as insufficient temperature drop or continuous compressor operation - and informs the user, accordingly, thereby contributing to the prevention of potential failures [7]. Another key strength of the project is its low-cost, open-source, and modular design. This structure facilitates easy integration of the developed system into existing commercial refrigerators and offers scalability for household applications or various industrial domains [8]. Moreover, this approach contributes to enhancing local R&D capabilities within the framework of university-industry collaboration.

This paper provides a detailed explanation of the design, architecture, hardware, and software infrastructure of the developed system, and evaluates its effectiveness based on experimental data. In addition, the potential contributions of the system to industry and possible future expansion scenarios are also discussed.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, an embedded systems-based monitoring and control infrastructure was developed to improve energy efficiency in commercial refrigerators and to detect potential anomalies at an early stage. The implemented approach consists of several stages: collecting data from multiple sensors, processing this data on a microcontroller, determining system responses through decision algorithms, and transmitting the results remotely via the MQTT protocol. Accordingly, the hardware, software, and communication layers were structured to complement each other in an integrated manner. STM32F407 microcontroller serves as the central control unit of the system. All sensor data is collected and processed through this processor. The implemented decision-making algorithms are executed on this platform. ESP32 wi-fi module enables wireless data transmission via the MQTT protocol, providing the user with remote monitoring and control capabilities. PZEM-004T V3.0 energy measurement module measures the refrigerator's real-time voltage, current, active power, and energy consumption values, enabling analysis of energy efficiency. NTC 10K temperature sensor measures temperature

variations inside the cooling compartment and provides input for the compressor control algorithms. Reed switch detects whether the door is open or closed and is used to analyze user behavior that affects the cooling cycle. The materials used are given as shown in Figure 1.

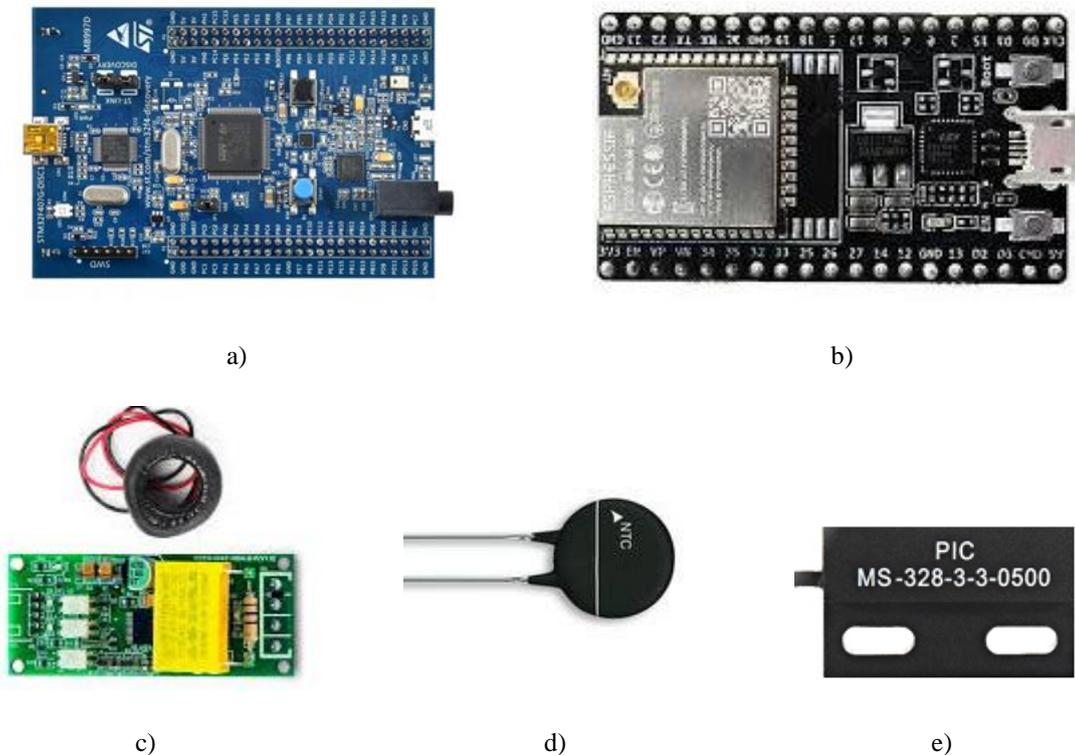


Figure 1. The materials used: a) STM32F407VGT6, b) ESP32-WROOM-32U, c) PZEM-004T module, d) NTC 10K and e) reed switch

The software developed for the STM32 microcontroller is structured to perform the following functions: temperature threshold control, door status management, energy anomaly detection. Based on data from the NTC sensor, the compressor is activated or deactivated when the temperature exceeds predefined limits. If the door remains open for an extended period, the system issues a warning and applies temporary control strategies to maintain cooling efficiency. Energy consumption data measured by the PZEM-004T module is analyzed to detect abnormal increases or decreases in power, ensuring system safety. The decision algorithms were initially structured as threshold-based, but the infrastructure has been designed to allow integration of machine learning-based analyses in later stages.

Data transmission is carried out using the MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol. For this purpose: The ESP32 module transmits the data received from the STM32 to the server using the MQTT “publish” function. A separate topic is defined for each sensor. The data is visualized on cloud-based platforms (e.g., Node-RED or ThingSpeak interfaces). Thanks to this structure, remote monitoring of the system has been made possible, and event-based notifications can also be delivered. The data collected was recorded in time-series format, and the following analysis methods were applied: daily compressor operating time, temperature variation curves, door open durations. Abnormal conditions - such as insufficient temperature drop within the expected time or sudden increases in energy consumption - were detected using threshold-based models, and notifications were sent to the user accordingly. All components

were initially integrated on a breadboard as a prototype and subsequently implemented on a commercial refrigerator. The system was tested under real-world conditions and demonstrated successful results in terms of both energy savings and fault detection.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The developed system was integrated into a commercial-type refrigerator and comprehensively tested in terms of real-time data acquisition, monitoring, and control functions. The application results demonstrated that the system was successful in both improving energy efficiency and detecting anomalies. This section analyzes the collected data and discusses the system's performance from both technical and functional perspectives.

According to the measurements obtained using the PZEM-004T energy analyzer, the optimized cooling cycle enabled by the system resulted in approximately 18% energy savings compared to a refrigerator with a standard control system. In particular, the adaptive operation of the compressor control algorithm based on door open duration effectively prevented unnecessary energy consumption. This result is consistent with similar systems reported in the literature, which demonstrate an energy savings range of 10–20%. For temperature stability and dynamic control performance temperature, measurements obtained via the NTC sensor indicate that the system can maintain the internal temperature within a $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ tolerance. Since the compressor's operating cycle is dynamically adjusted based on temperature thresholds, both cooling capacity and system responsiveness have improved. Compared to the standard system, the time required to reach the target temperature was reduced by an average of 12%. For anomaly detection and notification system, situations such as sudden deviations in energy consumption, unexpected temperature increases when the door remains open for an extended period, and prolonged compressor operation were defined by the system as anomalies, and notifications were sent to the user via MQTT. A strong correlation was identified between door open duration and temperature/energy deviations. Accordingly, it was concluded that the system provides an effective warning mechanism for predictive maintenance and prevention of user-related errors. For wireless communication performance, wireless data transmission via the MQTT protocol demonstrated successful performance with low latency, minimal bandwidth usage, and high data integrity. The data transmitted through the ESP32 module was reliably collected and visualized on the central server. During a continuous 6-hour test period, the system generated a total of 1,080 data points, all of which were transmitted without any loss.

The tests conducted demonstrated that the system operates stably in both hardware and software aspects for system stability and scalability potential. Thanks to its modular structure, it was observed that additional sensors (e.g., humidity sensor, vibration sensor) can be easily integrated. This highlights the system's potential for future integration into various applications or AI-based analytical frameworks.

4. CONCLUSIONS

In this study, an IoT-based, low-cost, and modular monitoring and control system was developed to improve energy efficiency and enable early detection of system anomalies in commercial refrigerators. The system monitors key parameters in real time - such as temperature, door status, and energy consumption - and analyzes the collected data using

embedded decision-making algorithms to optimize the cooling cycle. This architecture offers a more flexible, data-driven, and interactive alternative compared to conventional fixed-control systems. Experimental results demonstrated that the system achieved 15–20% energy savings, maintained temperature stability effectively, and accurately detected anomalous conditions. Moreover, the MQTT-based communication infrastructure enabled remote monitoring and control, providing significant benefits in terms of user experience and maintenance processes. These findings indicate that the proposed system is not only suitable for commercial refrigeration applications but also scalable to other domains. Its deployment in energy-intensive industrial environments could contribute to broader sustainability goals. Furthermore, due to its open-source and modular design, the integration of additional sensors or AI-based decision mechanisms is also feasible.

REFERENCES

- [1] Pala, B. D., & Esen, G. K. (2018). Türkiye’de ev tipi elektrikli cihazlarda enerji etiketi ve enerji verimliliği farkındalığı analizi. *Verimlilik Dergisi*, (2), 81-97.
- [2] Bobrek, A. ve Ilkucar, M. (2017). IoT aracılığıyla ev elektriği otomasyonu: akıllı mobil telefon ve beacon destekli programlanabilir ev tipi sigorta. *Avrasya Bilim Teknoloji Mühendislik ve Matematik Bildirileri*, (1), 90-95.
- [3] Çetin, F., & Yörükeren, N. (2020). Belirli güç kalitesi problemlerinin nesnelere interneti teknolojileri ile tespiti ve bulut tabanlı sunuculara entegrasyonu. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 8(4), 2321-2336.
- [4] Güğül, G. N., & Sarıtaş, M. (2011). Akıllı ev sistemleri ve uygulaması. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (025), 49-60.
- [5] Mamur, H. (2023). STM32CubeIDE ile STM32F407 Programlama, *Nobel Yayınevi*.
- [6] Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019, May). Using the ESP32 microcontroller for data processing. In *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)* (pp. 1- 6). IEEE.
- [7] Wadullah Tareq, R., & Ahmed Khaleel, T. (2021). Implementation of MQTT Protocol in Health Care Based on IoT Systems: A Study. *International Journal of electrical and Computer Engineering Systems*, 12(4), 215-223.
- [8] Arslan, M., Günerhan, H., Tavukçu, H., Soysal, B., vd. (2024). Ticari bir soğutucuda ürün sıcaklık sınıflarının enerji tüketimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 65(714), 27-48.

PIDFFD²F CONTROLLER DESIGN USING SPIDER WASP OPTIMIZATION FOR FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION SYSTEMS

Asist. Prof. Dr. Hasan BAŞAK

Artvin Çoruh University, Department of Electrical-Electronics Engineering, Seyitler, 08100,
Artvin, Türkiye, hasanbasak@artvin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3724-6819

ABSTRACT

Functional Electrical Stimulation (FES) refers to a clinical method that restores or enhances motor function by electrically stimulating peripheral nerves and muscles. It serves as a crucial technology in supporting functional recovery, especially for patients suffering from neurological impairments, paralysis, or disorders that compromise muscle activity. However, the complex and dynamic nature of neuromuscular responses require advanced control strategies to ensure safe and effective stimulation under changing conditions. To address this challenge, this study introduces a proportional–integral–derivative controller augmented with a fractional-order derivative filter and an additional filtered double-derivative term (PIDFFD²F). The controller parameters are optimized using the Spider Wasp Optimization (SWO) algorithm, a swarm-based metaheuristic inspired by the predatory and nesting behaviours of female spider wasps. Comparative results demonstrate that the PIDFFD²F controller tuned by SWO significantly improves system performance, offering a robust and reliable solution for FES systems.

Keywords: Functional Electrical Stimulation, PIDFFD²F Controller, Spider-Wasp Optimizer.

1. INTRODUCTION

Functional Electrical Stimulation (FES) technology has emerged as a key component in contemporary rehabilitation science, offering individuals with paralysis the opportunity to recover lost motor functions and considerably boost their daily living capabilities [1]. The fundamental principle of FES involves applying precisely controlled electrical signals to peripheral nerves or skeletal muscles to induce specific muscle activations that assist in producing voluntary movements [2]. Beyond facilitating motion recovery, FES therapy contributes to neural and muscular health by fostering neuroplastic adaptation, enhancing muscle performance, preventing disuse atrophy, and promoting greater functional autonomy. Due to these benefits, FES has established itself as an indispensable intervention in rehabilitation programs, particularly for patients with spinal cord injuries [3], where it has demonstrated remarkable success in restoring motor control and improving life quality.

However, despite its therapeutic potential, the widespread implementation of FES is hindered by several physiological and technical limitations. Among these, muscle fatigue remains one of the most critical barriers, arising from sustained or repetitive stimulation that diminishes a muscle's contractile efficiency over time. This decline primarily results from energy depletion in muscle fibers and the accumulation of metabolic by-products such as lactic acid, which reduce the force output capacity. Additionally, the complex, nonlinear, and time-varying characteristics of the human neuromuscular system introduce substantial uncertainty into the control process [4]. Therefore, the development of robust control methodologies is imperative to manage these physiological dynamics effectively and mitigate fatigue effects during prolonged therapeutic sessions.

Over the years, a wide range of control methodologies has been explored to enhance the performance and robustness of dynamic systems. Among these, gain scheduling control dynamically modifies controller parameters in response to changes in operating conditions, ensuring stable performance across different regimes [5]. Sliding mode control (SMC) has gained attention for its inherent robustness and ability to maintain stability in the presence of parameter variations and external disturbances [6]. Another prominent approach, nonlinear model predictive control (NMPC), leverages predictive modeling to anticipate system behavior and optimize control actions over a future time horizon [7]. Fuzzy logic controllers offer an alternative by managing system nonlinearity and uncertainty through linguistic rules and approximate reasoning [8]. Additionally, repetitive control techniques are employed to counteract periodic disturbances and accurately track repeating reference trajectories [9]. Conventional proportional–integral–derivative (PID) controllers [10, 11], along with their filtered variants (PIDF) [12], remain widely used due to their simplicity, ease of implementation, and effectiveness in a broad range of practical applications.

In recent years, numerous optimization algorithms have been explored to enhance controller parameter tuning within Functional Electrical Stimulation (FES) systems. Among these approaches, the Multi-Criteria Weighted Vector Mean (MC-INFO) algorithm [10] and the Logarithmic Spiral Arithmetic Optimization Algorithm (Ls-AOA) [11] have been utilized to optimize the parameters of conventional PID controllers. Similarly, the Multi-Strategy Weighted Mean of Vectors (m-INFO) algorithm [12] has been adopted for fine-tuning PIDF controllers applied in FES frameworks. More recently, the Dandelion Optimizer (DO) [13] has been introduced to improve the tuning of PID controllers augmented with fractional-order derivative and double-derivative filters (PIDFFD²F), achieving superior control accuracy and performance in FES-based rehabilitation systems.

Functional Electrical Stimulation (FES) systems play a crucial role in restoring motor abilities for individuals affected by paralysis. Nevertheless, achieving precise control over these systems remains a major challenge, primarily due to the inherent nonlinearity and stochastic characteristics of the human neuromuscular structure. To ensure consistent and effective performance, the development of advanced and robust control strategies is imperative. In this work, the control capability of the PIDFFD²F structure is further refined through parameter optimization using the Spider Wasp Optimization (SWO) algorithm. The optimization framework is designed to minimize key dynamic response criteria, such as percentage overshoot and settling time, thereby improving system stability and responsiveness. The

resulting performance is subsequently benchmarked against previously reported methods to validate the superior efficiency and reliability of the proposed control approach.

2. MODEL OF THE FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION SYSTEM

The Functional Electrical Stimulation (FES) system helps restore or improve movement by sending carefully controlled electrical signals to activate muscles or nerves. Creating a mathematical model of this system allows us to better understand how the body responds to stimulation and to design controllers that produce smoother, more natural motions. The Hill model [14], illustrated in Figure 1, is employed to precisely describe the mechanical characteristics of the muscle in the FES system.

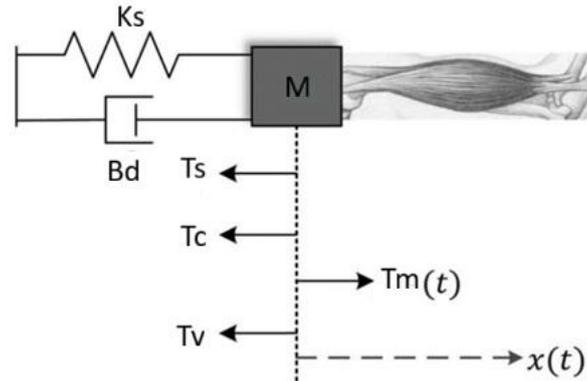


Figure 1. Hill's muscle model [12]

The mathematical representation of the Hill muscle model, derived from the basic principles of Newton's laws, is presented in Eq. (1)

$$M\ddot{x}_{out}(t) = T_m(t) - T_v(t) - T_s(t) - T_c(t) \quad (1)$$

where $T_m(t)$ represents the muscle tension force, $T_v(t)$ is the viscous friction force, $T_s(t)$ denotes the series elastic force, and $T_c(t)$ corresponds to the contractile component of the muscle.

The mathematical expressions for $T_v(t)$, $T_s(t)$ and $T_c(t)$ are defined as follows:

$$T_v(t) = \beta M g_o \dot{x}_{out}(t) \quad (2)$$

$$T_s(t) = K_s x_{out}(t) \quad (3)$$

$$T_c(t) = B_d \dot{x}_{out}(t) \quad (4)$$

where the parameters M , β , g_o , K_s and B_d represent the mass, friction coefficient, gravitational acceleration, spring stiffness, and damping coefficient, respectively.

By substituting the mathematical expressions from Equations (2)-(4) into Equation (1) and rearranging the resulting terms, Equation (5) is obtained as:

$$M\ddot{x}(t) = T_m(t) - \beta M g_o \dot{x}_{out}(t) - K_s x_{out}(t) - B_d \dot{x}_{out}(t) \quad (5)$$

When the Laplace transform is applied to Equation (5), the differential equation is reformulated as an algebraic expression in the Laplace domain, which simplifies the subsequent analysis. Assuming that $x_{out}(0) = 0$ and $\dot{x}_{out}(0) = 0$ the corresponding equation in the Laplace domain becomes:

$$Ms^2 x_{out}(s) = T_m(s) - \beta M g_o s x_{out}(s) - K_s x_{out}(s) - B_d s x_{out}(s) \quad (6)$$

By simplifying the resulting expression, the transfer function $G_{FES}(s)$ which describes the relationship between $X_{out}(s)$ and $T_m(s)$, is obtained as follows :

$$G_{FES}(s) = \frac{X_{out}(s)}{T_m(s)} = \frac{1}{M s^2 + (B_d + \beta M g_o)s + K_s} \quad (7)$$

It is important to highlight that the target distance is measured using a strain gauge sensor, which introduces a time delay represented by T . Consequently, this delay was modeled in the study using the first-order Padé approximation, as expressed as follows:

$$H(s) = e^{-Ts} \cong \frac{2 - Ts}{2 + Ts} \quad (8)$$

3. SPIDER WASP OPTIMIZATION

The Spider Wasp Optimizer (SWO) is a swarm-based metaheuristic algorithm introduced by Abdel-Basset et al. [15]. SWO is inspired by the biological behaviour of spider wasps, which hunt, paralyze, and use spiders as hosts for their larvae. This natural process is translated into an optimization framework that demonstrates strong capabilities in exploration, exploitation, and avoiding local optima. In SWO, each candidate solution represents a female spider wasp, and the search process is structured into several distinct phases:

Searching phase: This phase simulates female wasps searching for suitable spiders to feed their larvae. The wasps explore the search space randomly with a constant step size to locate the most appropriate prey, representing global exploration of the solution space.

Following and escaping phase: Once a promising prey is identified, the wasp either follows it or allows it to escape, depending on a distance control parameter. This behaviour helps balance the exploration and exploitation of the search space.

Nesting phase : Female wasps transport the paralyzed spider into a prepared nest. Spider wasps exhibit various nesting behaviours, such as digging or building cells in the soil, constructing mud nests on leaves or rocks, or using existing cavities like spider webs or beetle holes. These behaviours are modelled in SWO to reinforce exploitation around promising solutions.

Mating phase: The mating behaviour of spider wasps is incorporated into the algorithm. In nature, the gender of offspring is determined by the size of the host: small hosts produce males, while large hosts produce females. In SWO, each spider wasp represents a candidate solution, and the wasp egg corresponds to a newly generated solution. New solutions are generated through a crossover process that simulates the production of offspring, maintaining diversity and improving convergence.

4. CONTROLLER DESIGN

The conventional PID controller, which is extensively utilized in industrial applications. The PIDFFD²F controller represents an extended form of PID controller. This enhanced structure

has been shown to effectively improve system stability, steady-state accuracy, and robustness [13]. The mathematical representation of the PIDFFD²F controller in the frequency domain is given by

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \left(\frac{sN_1}{s^\lambda + N_1} \right) + K_{dd} \left(\frac{sN_2}{s + N_2} \right)^2 \quad (9)$$

where K_p , K_i , K_d , and K_{dd} represent the gains for the proportional, integral, derivative, and second-order derivative terms, N_1 and N_2 correspond to the filter gain coefficients, whereas λ defines the gain associated with the fractional-order filter term are the filter gains. Figure 2 show the scheme of PIDFFD²F controllers. Figure 2 presents the block diagram of the PIDFFD²F controller, which integrates the PID structure with fractional-order filtering and a filtered double-derivative component. This configuration enhances control flexibility, allowing more precise adjustment of transient and steady-state responses, thereby improving overall system performance, stability, and robustness.

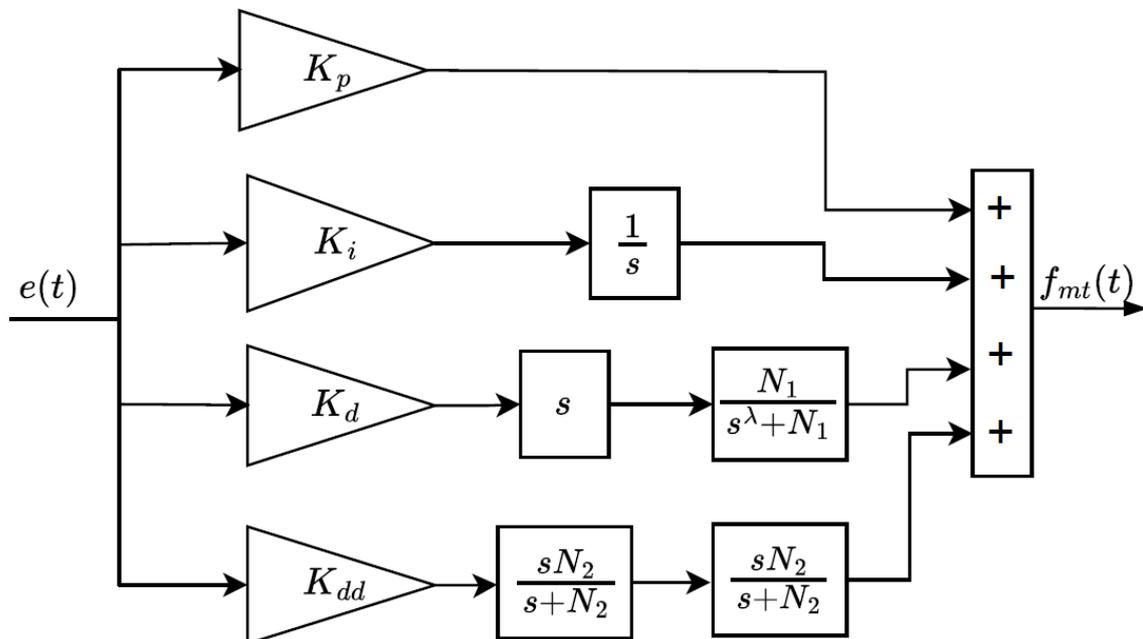


Figure 2. Block diagram of the PIDFFD²F controller.

In this study, the systems are modelled as minimization problems by optimizing the PIDFFD²F controller parameters ($\vec{X} = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7] = [K_p, K_i, K_d, K_{dd}, N_1, N_2, \lambda]$) using the objective function [1]:

$$F(\vec{X}) = 0.975 * M_p + 0.025 * T_s \quad (10)$$

in which, M_p and T_s are used to represent the system's percentage overshoot and settling time, respectively. The minimization problem is subjected to the constraints of $0 \leq K_p, K_i, K_d \leq 200$, $0 \leq K_{dd} \leq 20$, $0 \leq N_1, N_2 \leq 1000$ and $0 \leq \lambda \leq 1$. Figure 2 illustrates the implementation process of the PIDFFD²F-controlled FES system utilizing the $F(\vec{X})$ objective function.

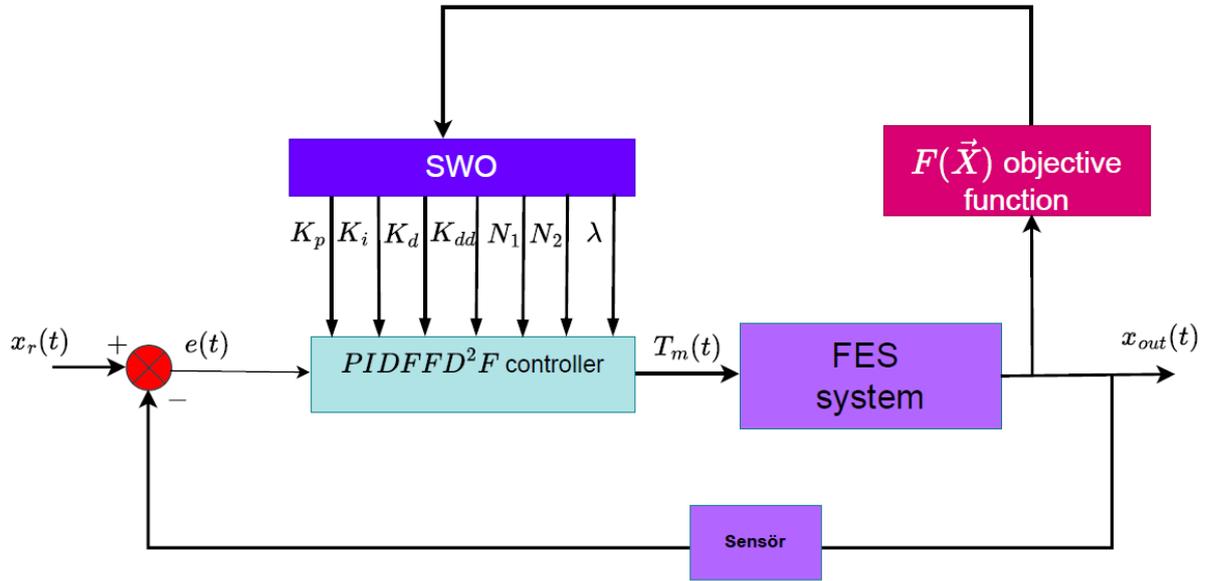


Figure 2. Block diagram illustrating the PIDFFD²F controller parameter tuning process for the FES system optimized by the SWO algorithm.

5. RESULTS and DISCUSSION

In this section, the effectiveness of the proposed approach is thoroughly assessed through statistical analysis, convergence behavior, and both time- and frequency-domain responses. The evaluation focuses on the capability of the SFOA to minimize the ITAE objective function for the liquid-level system, using a population size of 30, a maximum of 100 iterations, and 30 independent simulation runs.

Table 1. Objective function statistical assessment

Metric	Value
Minimum	0.0246
Maximum	0.0378
Median	0.0289
Mean	0.0293
Standard deviation	0.0032

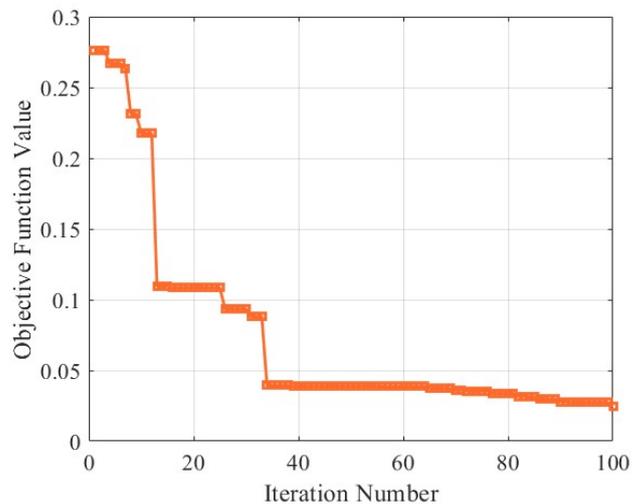


Figure 3. Objective function convergence performance of the SWO (best run).

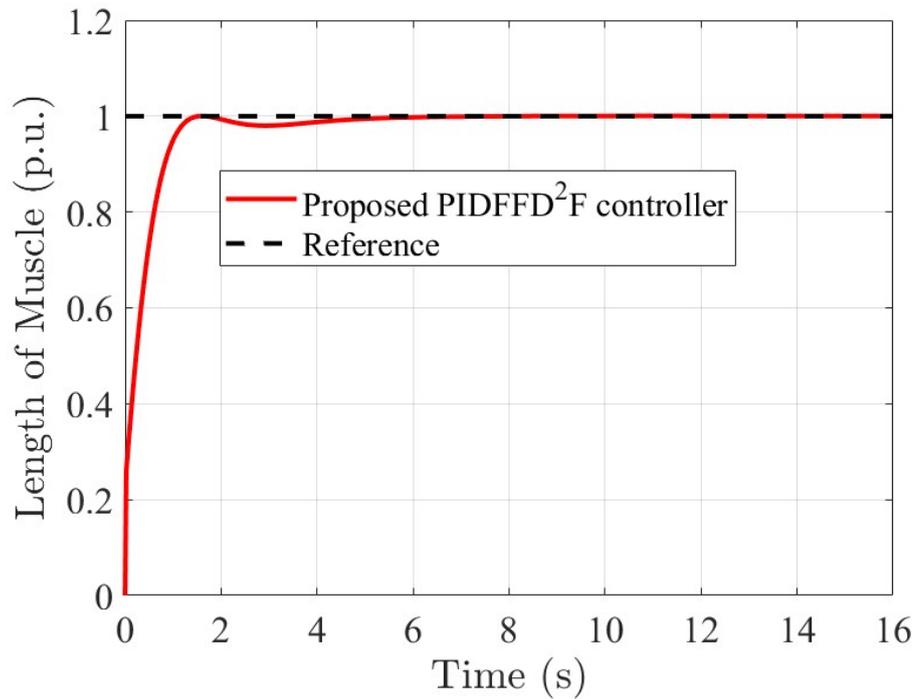


Figure 4. Closed-loop step response for the proposed controller.

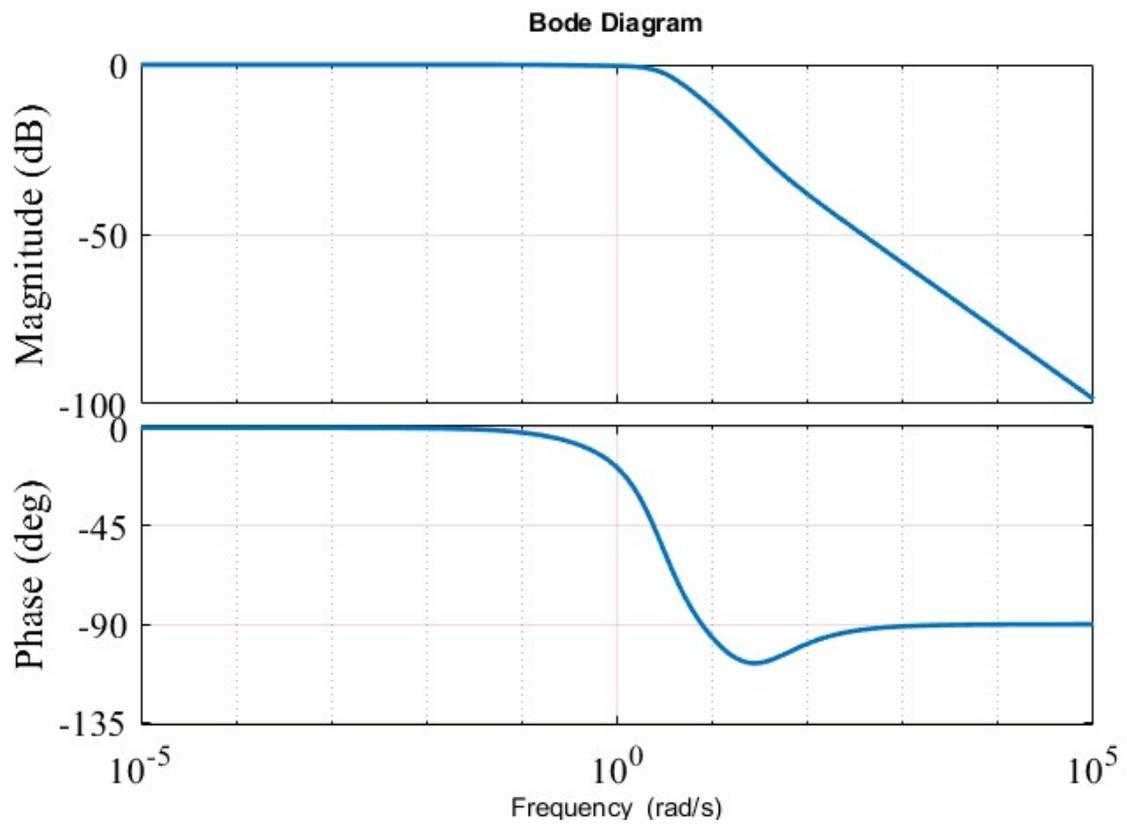


Figure 5. Frequency response plot of the controlled FES system.

Table 2. Time- and frequency-domain evaluation of the PIDFFD²F controller implemented in the FES system.

Metric	Value
Rise time (s)	0.63999
Settling time (s)	0.98409
Overshoot (%)	0
Gain Margin (dB)	Inf
Phase Margin (deg)	180
Bandwidth (rad/s)	3.3607

Table 1 presents the statistical outcomes derived from the minimization process. As observed, the SWO demonstrates stable and dependable optimization performance, with minimal variation across runs. This consistency highlights the algorithm’s robustness and effectiveness. Figure 2 illustrates the best convergence profile of the SWO during the minimization of the objective function, showing its steady improvement throughout the iterations and confirming its suitability for controlling the FES system. The corresponding controller gains are $K_p = 100.9978$, $K_i = 18.2416$, $K_d = 120.2121$, $K_{dd} = 16.3704$, $N_1 = 52.2416$, $N_2 = 10.5848$ and $\lambda = 0.0122$. Figure 3 depicts the step response of the closed-loop FES system, while Figure 5 displays the Bode plots of the proposed controller. The associated time- and frequency - domains performance indices are listed in Table 2. The SWO-PIDFFD²F controller achieves infinite gain margin and 180 margins, demonstrating outstanding robust stability of the FES system.

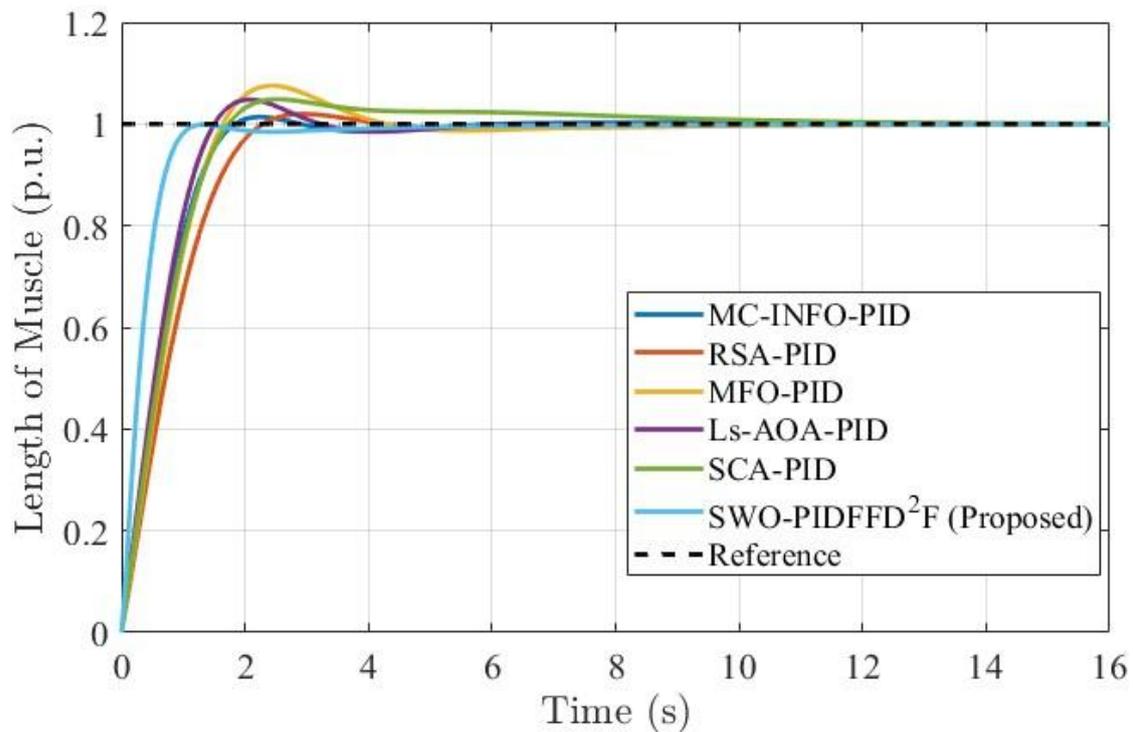


Figure 6. Comparing the proposed controller with PID controllers tuned using various approaches.

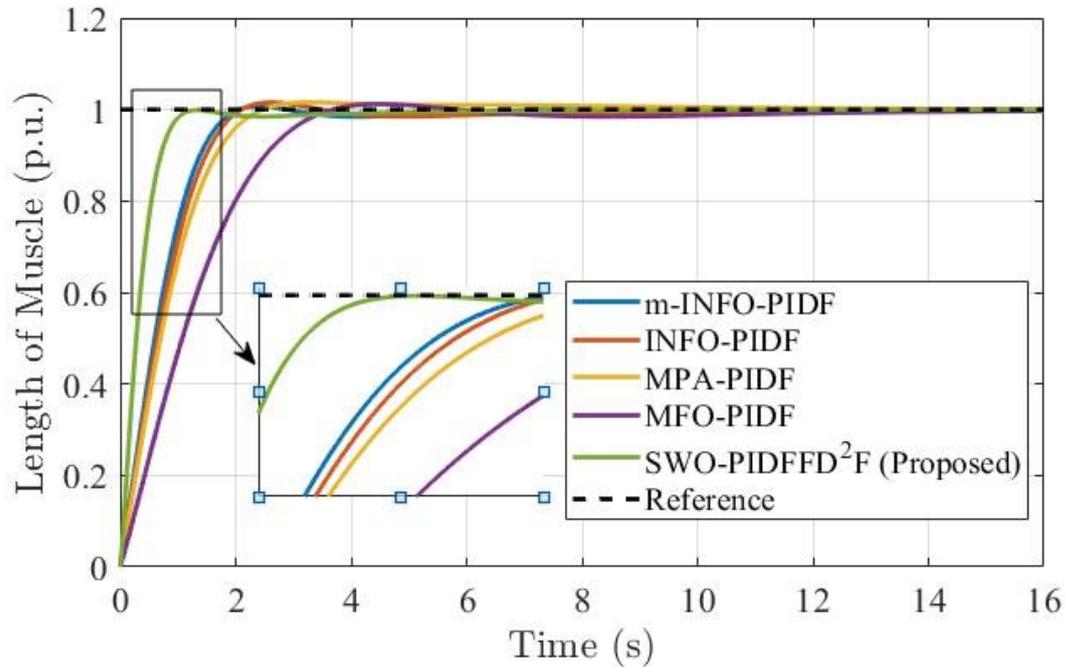


Figure 7. Comparison of the proposed controller with PIDF controllers tuned using various approaches

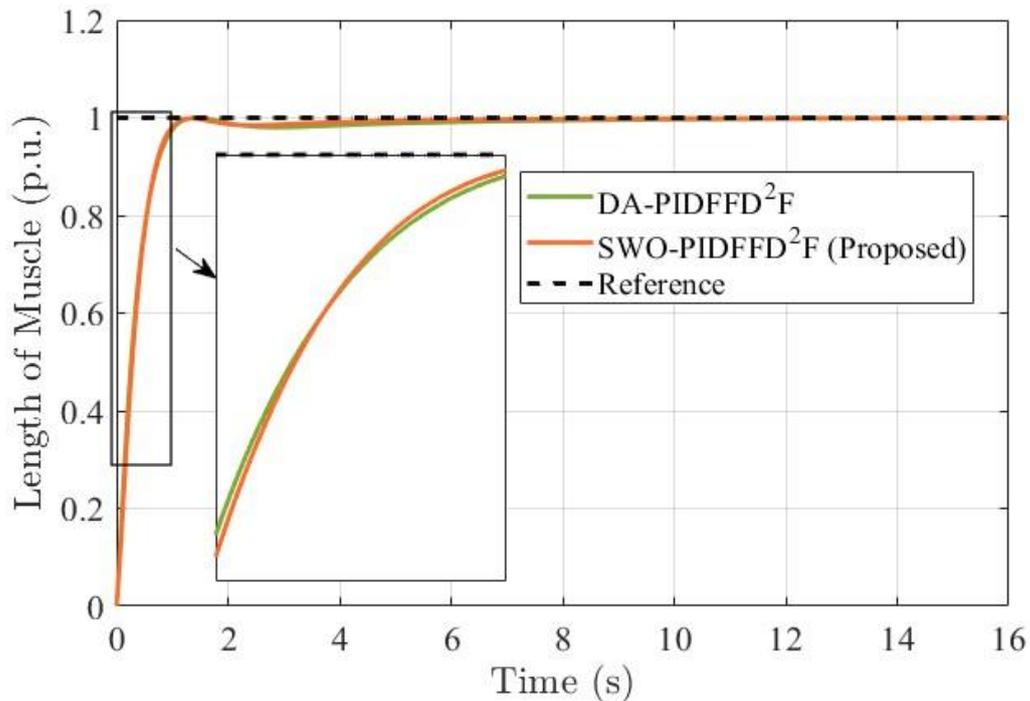


Figure 8. Comparison between the proposed controller and the DA-PIDFFD²F approach.

Figures 6, 7, and 8 illustrate the step response comparisons between the proposed controller and the benchmark methods applied to the FES system. The SWO-PIDFFD²F controller achieves a settling time of 0.63999 s, a rise time of 0.98409 s, and zero overshoot, indicating a highly stable and efficient response. According to the results summarized in Table 3, the proposed SWO-PIDFFD²F controller clearly outperforms the compared methods by providing faster rise

times, shorter settling times, and no overshoot. Therefore, it can be concluded that the SWO-PIDFFD²F controller delivers the most effective time-domain performance for the FES system, ensuring smoother and more reliable muscle activation dynamics.

Table 3. Comparative numerical transient response metrics

Methods\Metrics	Rise time (s)	Settling time (s)	Overshoot (%)
MC-INFO-PID[10]	1.1863	1.6623	1.3299
RSA-PID[10]	1.4805	3.0948	2.0608
MFO-PID[10]	1.1851	3.7565	7.6427
Ls-AOA-PID[11]	1.0595	2.7851	4.8032
SCA-PID[11]	1.2032	6.7595	4.8001
m-INFO-PIDF[12]	1.2641	1.8048	0.6857
INFO-PIDF[12]	1.3493	1.891	1.644
MPA-PIDF[12]	1.5219	2.1913	1.4691
MFO-PIDF[12]	2.2766	3.2224	1.5363
DA-PIDFFD ² F[13]	0.66004	1.0264	0
SWO-PIDFFD ² F (Proposed)	0.63999	0.98409	0

6. CONCLUSIONS

This study examined the application of the Spider Wasp Optimization (SWO) algorithm for tuning the control parameters of a PIDFFD²F controller in a Functional Electrical Stimulation (FES) system. The results showed that the proposed controller clearly outperformed previous approaches across key performance measures. In particular, the SWO-PIDFFD²F controller achieved a rise time of 0.63999 s, a settling time of 0.98409 s, and zero overshoot, highlighting its superior transient behaviour compared with earlier designs. These outcomes contribute to the ongoing advancement of assistive technologies that support the rehabilitation of individuals with paralysis. Future research will explore alternative control structures to further improve FES system performance and enhance muscle recovery outcomes.

REFERENCES

- [1] Alif, T., Bhasin, S., Garg, K., and Joshi, D. An enhanced model free adaptive control approach for functional electrical stimulation assisted knee joint regulation and control. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 1584-1593, 2023.

- [2] To, C. S., Kobetic, R., Schnellenberger, J. R., Audu, M. L., and Triolo, R. J. Design of a variable constraint hip mechanism for a hybrid neuroprosthesis to restore gait after spinal cord injury. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 13(2), 197-205, 2008.
- [3] Bao, X., Molazadeh, V., Dodson, A., Dicianno, B. E., and Sharma, N. Using person-specific muscle fatigue characteristics to optimally allocate control in a hybrid exoskeleton—preliminary results. *IEEE transactions on medical robotics and bionics*, 2(2), 226-235, 2020.
- [4] Nekoukar, V. Control of functional electrical stimulation systems using simultaneous pulse width, amplitude, and frequency modulations. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 24(8), 1467-1474, 2021.
- [5] Previdi, F., and Carpanzano, E. Design of a gain scheduling controller for knee-joint angle control by using functional electrical stimulation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 11(3), 310-324, 2003.
- [6] Nekoukar, V., and Erfanian, A. (2012). A decentralized modular control framework for robust control of FES-activated walker-assisted paraplegic walking using terminal sliding mode and fuzzy logic control. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 59(10), 2818-2827.
- [7] Kirsch, N., Alibeji, N., and Sharma, N. Nonlinear model predictive control of functional electrical stimulation. *Control Engineering Practice*, 58, 319-331, 2017.
- [8] Poboroniuc, M. S., Irimia, D. C., Baciuc, A., Bondar, T., Nițică, I. A., and Piseru, A. E. A fuzzy controller to support FES-based sitting-down in paraplegia. In *2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)* (pp. 0523-0528), 2018, October, IEEE.
- [9] Copur, E. H., Freeman, C. T., Chu, B., & Laila, D. S. Repetitive control of electrical stimulation for tremor suppression. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(2), 540-552, 2017.
- [10] Izci, D., Ekinci, S., Eker, E., & Demirören, A. (2023). Biomedical application of a random learning and elite opposition-based weighted mean of vectors algorithm with pattern search mechanism. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 34(2), 333-343.
- [11] Ekinci, S., Izci, D., Al Nasar, M. R., Abu Zitar, R., & Abualigah, L. Logarithmic spiral search based arithmetic optimization algorithm with selective mechanism and its application to functional electrical stimulation system control. *Soft Computing*, 26(22), 12257-12269, 2022.
- [12] Izci, D., Ekinci, S., Eker, E., and Demirören, A. Multi-strategy modified INFO algorithm: Performance analysis and application to functional electrical stimulation system. *Journal of Computational Science*, 64, 101836, 2022.
- [13] Sahin, A. K., and Ayas, M. S. Fine-tuned design of the PIDFFD2F control strategy for the functional electrical stimulation system using dandelion optimizer. *Biomedical Signal Processing and Control*, 103(107350), 107350, 2025.
- [14] Hill, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 126(843), 136-195, 1938.



- [15] Abdel-Basset, M., Mohamed, R., Jameel, M., and Abouhawwash, M. Spider wasp optimizer: A novel meta-heuristic optimization algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 56(10), 11675-11738, 2023.

İDEAL FERMI SERBEST ELEKTRON SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK PARAMETERELİNİN KUANTUM İSTATİSTİKSEL FİZİK ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ

Doç. Dr. Zafer DOĞAN

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tokat
Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Email: zafer.dogan@gop.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-
7953-0578

Tural MEHMETOĞLU

Amasya Üniversitesi, Taşova Meslek Yüksekokulu, Amasya, Türkiye, Email:
turalmehmetoglu@yahoo.co.uk ORCID ID: 0000-0001-8909-0222

ÖZET

Güç elektroniği temel yapıtaşı olan yarı iletken malzemelerin kararlı çalışmaları endüstriyel elektroniğin en önemli konularından biridir. Yarı iletkenlerin çalışmasında termo dinamik kararlılık günümüzde üzerinde yaygın olarak araştırılmaktadır. Bu çalışmada, ideal Fermi elektron sisteminin temel termodinamik özellikleri istatistiksel fizik çerçevesinde ele alınmıştır. Fermi serbest elektron modeli, özellikle düşük sıcaklıklarda serbest elektronların davranışlarını açıklamada önemli bir yere sahiptir. Pauli dışlama ilkesine göre, aynı kuantum durumunda birden fazla fermiyon bulunamaz. Bu prensip doğrultusunda, elektronların enerji düzeylerine dağılımı, Fermi-Dirac istatistikleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında iç enerji, entropi, basınç ve kimyasal potansiyel gibi büyüklükler hesaplanmış, bunların sıcaklıkla değişimi detaylı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle metalik sistemlerin ve yarıiletkenlerin elektronik özelliklerini anlamada teorik bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fermi enerjisi, Fermi sıcaklığı, kimyasal potansiyel, entropi, ısı kapasitesi, serbest enerji

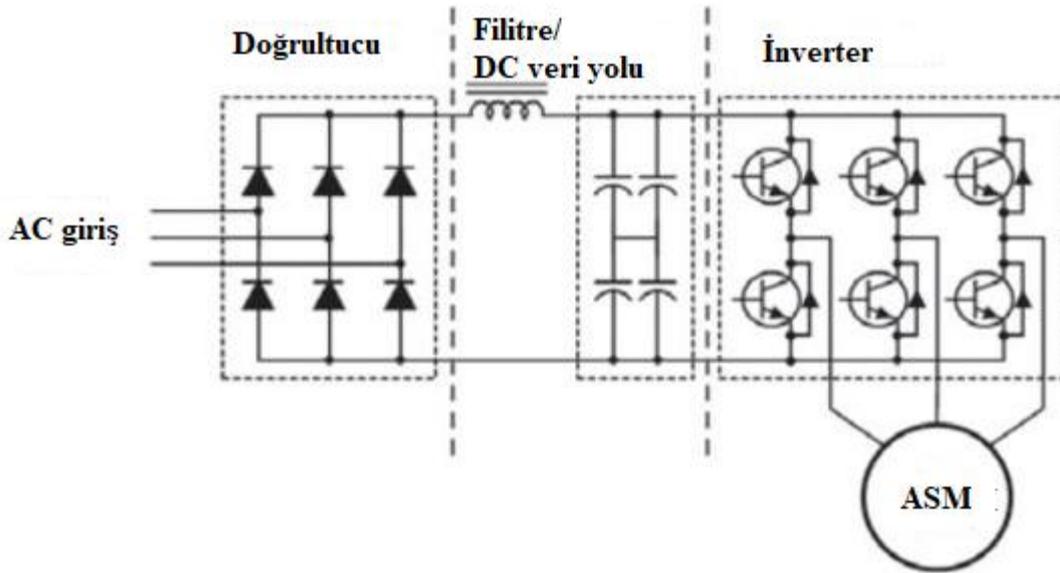
ABSTRACT

The stable operation of semiconductor materials, which are the building blocks of power electronics, is one of the most important topics in industrial electronics. Thermodynamic stability in the operation of semiconductors is currently a subject of widespread research. In this study, the fundamental thermodynamic properties of the ideal Fermi electron system are addressed within the framework of statistical physics. The Fermi free electron model plays an important role in explaining the behavior of free electrons, especially at low temperatures. According to the Pauli exclusion principle, more than one fermion cannot occupy the same quantum state. In line with this principle, the distribution of electrons across energy levels was examined using Fermi-Dirac statistics. Within the scope of the study, quantities such as internal energy, entropy, pressure, and chemical potential were calculated, and their temperature dependence was analyzed in detail. The findings provide a theoretical basis for understanding the electronic properties of metallic systems and semiconductors in particular.

Keywords: Fermi energy, Fermi temperature, chemical potential, entropy, heat capacity, free energy

I. GİRİŞ

Günümüz güç elektroniği donanımları olan transistör, tristör, triyak, diak vb. elektronik malzemelerin temel yapıtaşını oluşturan yarıiletkenlerden verim, kararlılık açısından üstün özellikler beklenmektedir. Yarı iletkenlerin bu beklentileri karşılayabilmesi termal, elektriksel ve manyetik olarak ideal çalışma özelliklerine sahip olmalarına bağlıdır. Şekil 1 'de görülen motor sürücü devreleri gibi uygulamalarda, özellikle nonlineer çalışma koşullarından kaynaklanan motor akım değişimleri termal değişimler oluşturmaktadır. Sıcaklık kararlılığı özellikle ideal koşulların karşılanmasında en önemli etkidir[1-7].



Şekil 1. Motor sürücü devresi[8]

Fermiyonlar, yarı tam sayılı spine sahip parçacıklardır ve doğaları gereği Pauli dışlama ilkesine uyarlar. Bu ilkeye göre, hiçbir iki fermiyon aynı anda aynı kuantum durumunu işgal edemez. Elektronlar da fermiyon olduklarından, özellikle yoğun sistemlerde ve düşük sıcaklıklarda klasik Maxwell-Boltzmann istatistiklerinden sapmalar gösterirler. Bu nedenle, Fermi-Dirac istatistikleri kullanılarak modellenmeleri gerekir. İdeal Fermi elektronu modeli, dış etkileşimlerin ihmal edildiği, sadece kuantum istatistiklerinin dikkate alındığı bir sistemdir. Bu model, başta metaller olmak üzere çok sayıda fiziksel sistemin elektron davranışlarının incelenmesinde kullanılır. Özellikle düşük sıcaklıkta bu model, klasik teorilerin açıklayamadığı özgül ısı, elektriksel iletkenlik ve termal özellikler gibi olguları başarıyla açıklar [1-7].

Bu çalışmada, üç boyutlu ideal Fermi serbest elektron sisteminin termodinamik özellikleri analitik ifadelerle sistematik bir biçimde ele alınmış ve bu büyüklüklerin genel sıcaklık bağımlılıklarına ilişkin ifadeler yeniden gözden geçirilmiştir. Böylece, Fermi enerjisi, Fermi sıcaklığı ve kimyasal potansiyel gibi temel kavramların sistem üzerindeki etkileri detaylı olarak ortaya konulmuştur.

2. İDEAL FERMİ SERBEST ELEKTRON SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK PARAMETRELERİ

Bu çalışmada, serbest elektron sisteminin termodinamiği, ideal bir kuantum serbest elektron sistemi olarak ele alınan ve büyük kanonik bir toplulukta tanımlanan serbest bir serbest elektron sistemi varsayılarak incelenmiştir. Böyle bir serbest elektron sistemi için iş fonksiyonunu ve büyük termodinamik fonksiyonu Fermi-Dirac istatistiğine göre aşağıdaki şekilde tanımlanır [9-11]:

$$Z = \prod_p (1 + e^{-\beta(\varepsilon - \mu)}) \quad (1)$$

$$\Omega = -kT \sum_k \ln(1 + e^{-\beta(\varepsilon - \mu)}) \quad (2)$$

Bu durumda Fermi serbest elektron sisteminin hal denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$PV / kT = \ln(Z) = \sum \ln(1 + \eta e^{-\beta\varepsilon}) \quad (3)$$

Burada η Fermi serbest elektron sistemi için etkin parametre olup

$$\eta = \exp(\mu / kT) \quad (4)$$

0 ile ∞ arasında herhangi bir değer alabilir, yani $0 \leq \eta < \infty$. Pauli dışlama ilkesine göre, tek bir enerji düzeyini en fazla bir parçacık olabilir. Bu nedenle, Fermi serbest elektron sistemi için yoğunlaşma gibi bir olgu söz konusu değildir. Sistemde tüm μ değerleri ortaya çıkabilir. μ , sisteme başka bir parçacık eklemek için gereken ortalama enerjidir, bu nedenle sabit hacimde parçacık sayısı arttıkça μ 'de artmalıdır. (3) denkleminde V sistemin hacmi, P basınç ve T denge sıcaklığıdır. Büyük V hacmi için toplam, integraller cinsinden yazılabilir. Yani Eşitlik (3) şu şekilde yazılabilir [2-3]:

$$\begin{aligned} \frac{PV}{kT} &= \int_0^\infty \ln(1 + \eta e^{-\beta\varepsilon}) g(\varepsilon) d\varepsilon \\ &= g \frac{2\pi V}{h^3} (2m)^{3/2} \int_0^\infty \varepsilon^{1/2} \ln(1 + \eta e^{-\beta\varepsilon}) d\varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

Elektron için $g = 2s + 1 = 2$ değerini alır. Denklem 4'de $x = \beta\varepsilon$ yeni değişene geçirek

$$\frac{PV}{kT} = g \frac{2\pi V}{h^3} (2m)^{3/2} (kT)^{3/2} \int_0^\infty x^{1/2} \ln(1 + \eta e^{-x}) dx \quad (6)$$

(6) denkleminde kısmi integrasyon uygularsak

$$\frac{PV}{kT} = g \frac{(2\pi mkT)^{3/2}}{h^3} \frac{1}{\Gamma(\frac{5}{2})} \int_0^\infty \frac{x^{\frac{5}{2}-1}}{\eta^{-1} e^x + 1} dx \quad (7)$$

(7) denkleminde Fermi-Dirac fonksiyonunu aşağıdaki gibi tanımlaya biliriz:

$$f_V(\eta) = \frac{1}{\Gamma(v)} \int_0^\infty \frac{x^{v-1}}{\eta^{-1} e^x + 1} dx \quad (8)$$

Bu durumda (7) denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$\frac{P}{kT} = g \frac{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \frac{1}{\Gamma(\frac{5}{2})} \int_0^{\infty} \frac{x^{\frac{5}{2}-1}}{\eta^{-1} e^x + 1} dx \quad (9)$$

Büyük termodinamik fonksiyona göre serbest elektron yoğunluğunu aşağıdaki kimi hesaplanır:

$$N = - \left(\frac{\partial \Omega(V, T, \mu)}{\partial \mu} \right)_{V, T} \quad (10)$$

(2)'ni (10) denkleminde dikkate alırsak aşağıdaki ifadeni alırız:

$$N = g \frac{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} f_{\frac{3}{2}}(\eta) \quad (11)$$

(1) formülünü kullanarak iç enerji için aşağıdaki sonucu alarız:

$$U = - \left(\frac{\partial \ln(Z)}{\partial \beta} \right)_{\eta, V} = \frac{3}{2} kTV g \frac{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} f_{\frac{5}{2}}(\eta) = \frac{3}{2} kTN \frac{f_{\frac{5}{2}}(\eta)}{f_{\frac{3}{2}}(\eta)} \quad (12)$$

İç enerji formülüne göre hal denklemini aşağıdaki gibi yazarız:

$$PV = \frac{2}{3} U = kTN \frac{f_{\frac{5}{2}}(\eta)}{f_{\frac{3}{2}}(\eta)} \quad (13)$$

Yukarıda elde parameterelere göre ısı kapasitesi, serbest enerji ve entropi için aşağıdaki formülleri alarız [3, 5]:

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_{V, N} = kN \left(\frac{15}{4} \frac{f_{\frac{5}{2}}(\eta)}{f_{\frac{3}{2}}(\eta)} - \frac{9}{4} \frac{f_{\frac{3}{2}}(\eta)}{f_{\frac{1}{2}}(\eta)} \right) \quad (14)$$

$$F = N\mu - PV = NkT \left(\ln(\eta) - \frac{f_{\frac{5}{2}}(\eta)}{f_{\frac{3}{2}}(\eta)} \right) \quad (15)$$

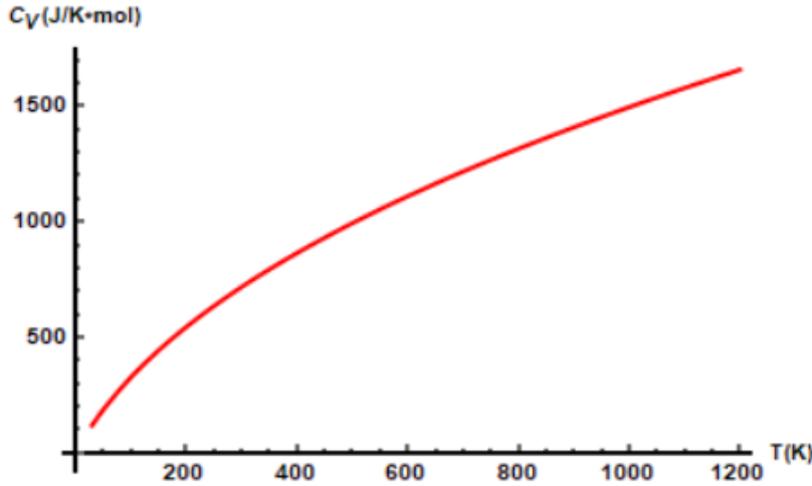
$$S = \frac{U - F}{T} = Nk \left(\frac{5}{2} \frac{f_{\frac{5}{2}}(\eta)}{f_{\frac{3}{2}}(\eta)} - \ln(\eta) \right). \quad (16)$$

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada değerlendirilen teorik sonuçlar, ideal Fermi serbest elektron sisteminin düşük ve yüksek sıcaklık limitlerinde gösterdiği davranışları başarılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 2'den görüldüğü gibi, özellikle düşük sıcaklıklarda kimyasal potansiyelin Fermi enerjisine yaklaşması ve entropinin sıfıra yönelmesi, üçüncü termodinamik yasayla tutarlılık göstermektedir. Bu durum, sistemin mutlak sıfıra yaklaştıkça düzenli bir hale gelmesini açıklar.

Sıcaklık arttıkça, kimyasal potansiyelin azalması ve parçacıkların enerji düzeylerine daha geniş bir şekilde dağılması, klasik davranışa geçişin bir göstergesidir. Bu geçiş, Fermi-Dirac istatistiklerinden Maxwell-Boltzmann istatistiklerine doğru eğilimle açıklanabilir. Dolayısıyla model, klasik ve kuantum rejimleri arasında bir köprü kurmakta etkilidir.

Ayrıca, bu çalışmada hesaplanan entropi, serbest enerjisi, ısı kapasitesi, basınç ve iç enerji gibi termodinamik büyüklükler, özellikle metallerin özgül ısı davranışı gibi deneysel verilerle karşılaştırıldığında anlamlı sonuçlar vermektedir. Ancak bu modelde parçacıklar arasında hiçbir etkileşim olmadığı varsayılmıştır. Gerçek sistemlerde ise elektron-elektron etkileşimleri, manyetik alanlar veya örgü etkileri gibi unsurlar göz ardı edilemez.



Şekil .2 İdeal Fermi serbest elektron sisteminin ısı kapasitesinin sıcaklığa göre değişmesi ($\mu = 5.3 \times 10^{-21} \text{J}$)

KAYNAKLAR

1. Justice, P., Marshman, E., & Singh, C. (2019). Student understanding of Fermi energy, the Fermi–Dirac distribution and total electronic energy of a free electron gas. *European Journal of Physics*, 41(1), 015704.
2. Zwierlein, M. W. (2016). Thermodynamics of strongly interacting Fermi gases. In *Quantum Matter at Ultralow Temperatures* (pp. 143-220). IOS Press.
3. Stoner, E. C. (1939). XXIV. The thermodynamic functions for a Fermi-Dirac gas. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 28(188), 257-286.
4. Kozharin, A. S., & Levashov, P. R. (2021). Thermodynamic coefficients of ideal Fermi gas. *Contributions to Plasma Physics*, 61(10), e202100139.
5. Kozharin, A. S., & Levashov, P. R. (2021). Thermodynamic coefficients of ideal Fermi gas. *Contributions to Plasma Physics*, 61(10), e202100139.
6. Poluektov, Y. M., & Soroka, A. A. (2016). Thermodynamics of the Fermi gas in a quantum well. *arXiv preprint arXiv:1608.07205*.
7. Bartmess, J. E. (1994). Thermodynamics of the electron and the proton. *The Journal of Physical Chemistry*, 98(25), 6420-6424.
8. İnternet adresi: <https://utrzymanieruchu.pl/ochrona-silnika>
9. Pathria, R.K. (2015) *Statistical Mechanics*, New-York, USA.
10. Agarwal, B. K., Eisner, M. (2020) *Statistical Mechanics*, New-York, USA.
11. Reif, F. (2010) *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*, New York, McGraw-Hill.



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 10-12, 2025- SKOPJE
ISBN NR. : 978-625-5694-40-9

GaN GÜÇ ELEKTRONİĞİ YARIİLETKENİN YÜK TAŞIYICI YOĞUNLUĞUNUN SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞMESİNİN FERMI-DIRAC YAKLAŞIMINA GÖRE İNCELENMESİ

Doç. Dr. Zafer DOĞAN

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tokat
Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Email: zafer.dogan@gop.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-
7953-0578

Tural MEHMETOĞLU

Amasya Üniversitesi, Taşova Meslek Yüksekokulu, Amasya, Türkiye, Email:
turalmehmetoglu@yahoo.co.uk ORCID ID: 0000-0001-8909-0222

ÖZET

Bu çalışmada, GaN güç elektroniği yarı iletkeninin yük taşıyıcı konsantrasyonunu hesaplamak için genel bir yöntem önerilmiştir. Fermi-Dirac istatistiği, fermiyonlar için geçerli olan kuantum istatistiklerinden biridir ve elektronların enerji seviyelerini doldurmada Pauli dışlama prensibini dikkate alır. Bu yaklaşım, özellikle düşük sıcaklıklarda elektronların dağılımını ve kimyasal potansiyelin (Fermi seviyesi) sıcaklığa bağlı değişimini doğru şekilde modelleyebilmek için gereklidir. Geniş bant aralıklı yarı iletkenlerde, elektronların bant yapısı, doluluk durumları ve taşıyıcı yoğunlukları Fermi-Dirac dağılımı üzerinden hesaplandığında ısı kapasitesi gibi termodinamik niceliklerin daha hassas ve gerçekçi tahminleri elde edilir. Fermi-Dirac yaklaşımı kullanılarak yük taşıyıcı konsantrasyonları için analitik ve literatür sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda, yöntem tüm parametreler için oldukça yeterli bulunmuştur. Bu incelemede ele alınan yaklaşımın incelenmesi, yük taşıyıcı konsantrasyonlarının ve Fermi-Dirac yönteminden türetilen analitik denklemin hesaplanmasında yararlı olabileceğini göstermektedir. Denklem ve literatür arasında yapılan bir karşılaştırma, ikincisinin birincisinden daha basit ve daha doğru olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Fermi-Dirac yöntemi, yük taşıyıcı konsantrasyonları, yarı iletkenler, güç elektroniği

ABSTRACT

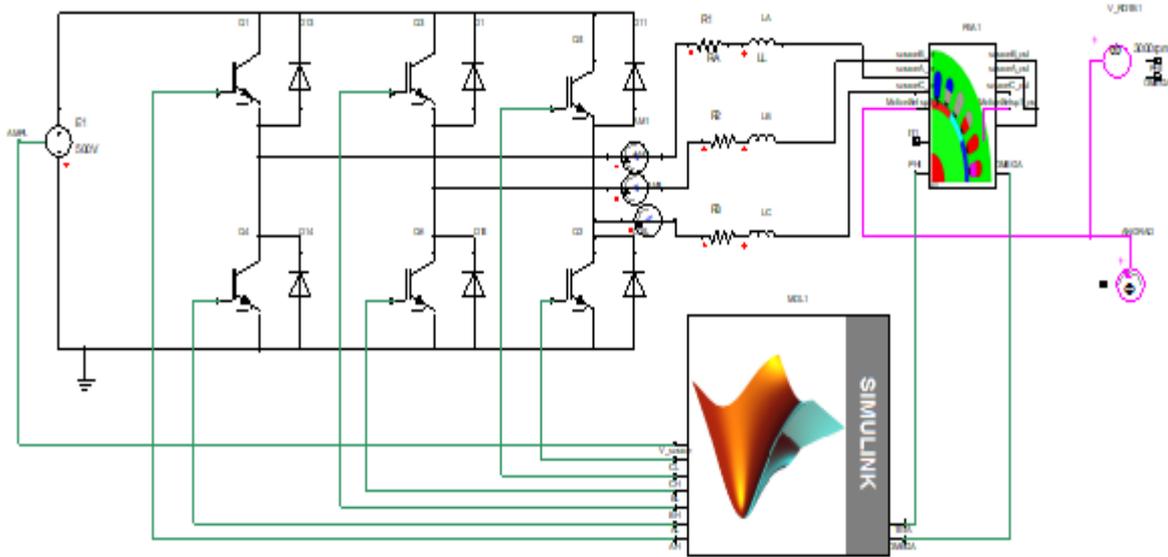
In this study, a general method for calculating the charge carrier concentration of the GaN power electronic semiconductor is proposed. Fermi-Dirac statistics is one of the quantum statistics applicable to fermions, and it takes into account the Pauli exclusion principle when filling electron energy levels. This approach is especially necessary to accurately model the distribution of electrons at low temperatures and the temperature-dependent variation of the chemical potential (Fermi level). In wide band-gap semiconductors, when the band structure, occupancy conditions, and carrier concentrations of electrons are calculated using the Fermi-Dirac distribution, thermodynamic quantities such as heat capacity can be predicted with greater precision and realism. Based on the comparison of the analytical and literature results for the charge carrier concentrations using Fermi-Dirac approximation, as a result, the method has been

very adequate for all parameters. The examination of the approach made in this review shows that it can be useful for calculation charge carrier concentrations and the analytic equation derived from the Fermi-Dirac method. A comparison between the equation and literature did reveal that the latter is simpler and more accurate than the former.

Keywords: Fermi-Dirac method, charge carrier concentrations, semiconductors, power electronics

1. GİRİŞ

Güç elektroniği donanımlarından olan MOSFET'ler, IGBT'ler ve tristörler günümüzde endüstriyel elektroniğin vazgeçilmez anahtarlama elemanlarının başında gelmektedirler. Bu donanımlar, elektrik makinelerinin sürücülerinden, elektrik güç dönüştürücülerine kadar oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu uygulama alanlarından birine örnek olarak, Şekil 1'de IGBT temelli bir inverter ile sürülen Fırçasız Doğru Akım Motoru sürücüsü görülmektedir.



Şekil 1. IGBT temelli bir inverter ile sürülen Fırçasız Doğru Akım Motoru sürücüsü

Şekil 1'de görülen motor sürücülerine benzer şekilde kullanıldıkları tüm devrelerde güç elektroniği anahtarlama elemanlarından istenen temel beklenti, yüksek anahtarlama performansı eldesidir. Bu beklentinin karşılanması ancak güç elektroniği elemanlarının yarı iletken yapısı ve performansı ile sağlanabilir. Bu ihtiyacın karşılanması için günümüzde Silisyum Karbür (SiC), Galyum Nitrür (GaN) ve elmas gibi yarı iletkenler ile güç elektroniği anahtarlama elemanları yapılandırılmaktadır. Bu yarıiletkenlerin en önemli ortak özelliği geniş bant özelliğine sahip olmalarıdır [1,2].

GaN, geleneksel Silisyum (Si) tabanlı cihazlara kıyasla üstün elektriksel ve termal özelliklere sahip bir geniş bant aralıklı yarıiletken malzemedir [1,2]. Daha yüksek verimlilik, daha hızlı anahtarlama hızları ve daha büyük güç yoğunluğu sunarak, güç elektroniği, RF elektroniği ve yüksek frekanslı devreler gibi birçok alanda devrim yaratmıştır. GaN'nin geniş bant aralığı (3.4 eV), onu yüksek voltaj, sıcaklık ve frekansta çalışabilen bir yarıiletken haline getirir. GaN transistörleri düşük açık kanal direncine ($R_{DS(on)}$) sahiptir, bu da iletim kayıplarını azaltır. Hızlı anahtarlama ve yüksek elektriksel dayanım alanı **sayesinde** minimum anahtarlama kaybı sağlar. Daha yüksek verimlilik, daha az ısı üretimi ve daha küçük soğutma ihtiyacı anlamına gelir. GaN, Si'den 100 kat daha hızlı anahtarlama yapabilir, bu da MHz seviyesinde güç dönüşümünü mümkün kılar. GaN, 600°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Yüksek voltajlara dayanabilir, bu da daha az soğutma ihtiyacı ve daha basit tasarımlar anlamına gelir [3-7].

Fermi-Dirac istatistiği, yarıiletkenlerdeki elektron ve deliklerin yoğunluğunu belirlemek için kullanılan temel bir istatistiksel modeldir [8, 9]. Yük taşıyıcı yoğunluğu, bir yarıiletkenin iletkenlik bandında bulunan elektron yoğunluğu (n) ve değerlik bandında bulunan delik yoğunluğu (p) olarak ifade edilir. Bu çalışmada, Fermi-Dirac yaklaşımı kullanılarak GaN güç yarıiletkenin yük taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa göre değişimi incelenmiştir.

2. YARIİLETKENLERİ YÜK TAŞIYICI YOĞUNLUĞU

Katkısız bir yarıiletken herhangi bir safsızlık atomu veya kusur içermez. En yaygın iki örnek saf germanyum ve silikondur. Bildiğiniz gibi, bu malzemeler mutlak sıfır sıcaklığın yakınında iletken değildir. Katkısız bir yarıiletkende elektrik akımının iletim elektronlarının ve deliklerin veya valans elektronlarının hareketi ile oluşur. Fermi-Dirac yaklaşımı kullanılarak katkısız yarıiletkenlerin elektron (n) ve deşik (hole) (p) yük taşıyıcı yoğunluğu aşağıdaki gibi yazılır [8]:

$$n_e(E)dE = g_e(E)f_e(E)dE \quad (1)$$

$$n_h(E)dE = g_h(E)f_h(E)dE \quad (2)$$

Burada, $g_e(E)$ ve $g_h(E)$, E enerjisinde izin verilen enerji durumlarının yoğunlukları ve $f_e(E)$ ve $f_h(E)$ yarıiletkenlerin E enerjili durumu bulunma olasılıklarıdır.

$g_e(E)$ ve $g_h(E)$ yoğunlukları ve $f_e(E)$ ve $f_h(E)$ Fermi dağılım fonksiyonlarını aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$g_e(E) = \frac{4\pi(2m_e^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \quad (3)$$

$$g_h(E) = \frac{4\pi(2m_h^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E_v - E} \quad (4)$$

ve

$$f_e(E) = \frac{1}{\text{Exp}\left(\frac{E_c - E_F}{k_B T}\right)} \quad E \geq E_c \text{ oldukça} \quad (5)$$

$$f_h(E) = \frac{1}{1 + \text{Exp}\left(\frac{E_F - E_c}{k_B T}\right)} \quad (6)$$

(3) ve (4) denklemlerinde m_e^* ve m_h^* elektron ve deşiklerin etkin kütesidir, E_c İletim Bandı E_v Değerlik Bandıdır. (3) - (6) denklemlerini (1) ve (2)'de yerine yazıp gereken işlemler yapıldığında elektron ve delik (hole) yük taşıyıcı younlulu için aşağıdaki formülleri alırız:

$$n_e = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2} \text{Exp}\left(-\frac{(E_c - E_F)}{k_B T}\right) \quad (7)$$

ve

$$n_h = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2} \text{Exp}\left(-\frac{(E_F - E_c)}{k_B T}\right) \quad (8)$$

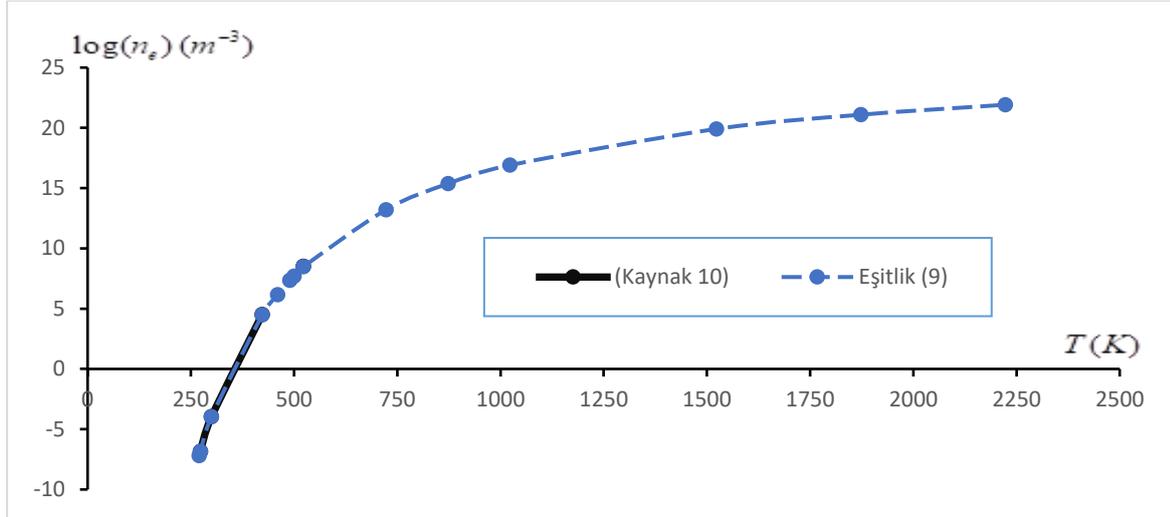
Denklemler üzerinde gereken matematiksel işlemler yapıldıktan sonra toplam elektron ve delik (hole) yük taşıyıcı yoğunluğu için aşağıdaki formülü alırız:

$$n_i = 2 \left(\frac{2\pi k_B T}{h^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} \text{Exp}\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (9)$$

burada E_g band aralığıdır.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Fermi-Dirac yaklaşımı kullanılarak katkısız yarıiletkenler için verilen denklem (9)'a göre yük taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa göre hesaplama sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Katkısız GaN elektron yük taşıyıcı yoğunluğunun ($\log(n_e), m^{-3}$) sıcaklığa göre değişmesi ($m_e = 0.23m$, $m_h = 0.24m$, $E_g = 3.39 eV$)

Alınan sonuçların literatür sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Burada önerilen yöntemin güç yarıiletkenlerinin farklı özelliklerini incelenmesi için önemli olduğu anlamına gelir.

KAYNAKLAR

1. Flack, T. J., Pushpakaran, B. N., & Bayne, S. B. (2016). GaN technology for power electronic applications: a review. *Journal of Electronic Materials*, 45, 2673-2682.
2. Pushpakaran, B. N., Subburaj, A. S., & Bayne, S. B. (2020). Commercial GaN-based power electronic systems: A review. *Journal of electronic materials*, 49, 6247-6262.
3. Jiang, K., Zhang, P., Song, S., Sun, T., Chen, Y., Shi, H., ... & Chen, G. (2024). A review of ultra-short pulse laser micromachining of wide bandgap semiconductor materials: SiC and GaN. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 180, 108559.
4. Wellmann, P. J. (2017). Power electronic semiconductor materials for automotive and energy saving applications—SiC, GaN, Ga₂O₃, and diamond. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 643(21), 1312-1322.
5. Millan, J. (2012, October). A review of WBG power semiconductor devices. In *CAS 2012 (International Semiconductor Conference)* (Vol. 1, pp. 57-66). IEEE.
6. Singh, S., Chaudhary, T., & Khanna, G. (2022). Recent advancements in wide band semiconductors (SiC and GaN) technology for future devices. *Silicon*, 14(11), 5793-5800.
7. Strite, A. S., & Morkoç, H. (1992). GaN, AlN, and InN: a review. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, 10(4), 1237-1266.
8. Gupta, K. M., Gupta, N., Gupta, K. M., & Gupta, N. (2016). Carrier transport in semiconductors. *Advanced Semiconducting Materials and Devices*, 87-144.

9. Evstigneev, M. (2022). Carrier Concentration and Electric Potential. In *Introduction to Semiconductor Physics and Devices* (pp. 151-170). Cham: Springer International Publishing.
10. D. K. Saini, A. Ayachit, and M. K. Kazimierczuk, "Buck DC-AC Converter Using Gallium Nitride FETs for Amplitude-Modulated Class-E RF Power Amplifiers." In review at IEEE Industrial Electronics Society Conference, Yokohama, Japan, November 9-12, 2015. Submitted in May 2015.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE: CURRENT TRENDS AND FUTURE PERSPECTIVES

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK

Gaziantep University, drhulyacicek@hotmail.com, ORCID ID:0000-0002-1065-1582

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) in medicine is evolving from systems specialized in specific tasks to more integrated and patient-centered solutions. This transformation has been made possible by large datasets, deep learning techniques, and advances in generative AI, in particular. Today, AI is transitioning from academic journals and proof-of-concept studies to clinical trials and real hospital settings, promising to solve some of the most persistent challenges in healthcare, such as diagnostic errors, operational inefficiencies, therapeutic stagnation, and rising costs. AI now does more than just analyze medical images; it can bring together different sources such as structured data, clinical notes, time series data, and genetic information to assess a patient's health more holistically.

Generative AI has great potential in areas such as designing new drug molecules and automatically summarizing doctor-patient consultations to reduce the clinical documentation burden. At the same time, operational AI applications are used to optimize administrative processes in healthcare, such as patient admission predictions, operating room scheduling, and supply chain management.

However, with the proliferation of these technologies, ethical responsibilities have also gained importance. Issues such as bias, explainability, and fairness in AI systems are being addressed with great care, with principles such as algorithmic fairness and transparency being prioritized.

Ultimately, artificial intelligence will not replace healthcare professionals; it will be a powerful collaborator that enhances their decision-making processes, enabling more effective, efficient, and personalized healthcare delivery.

Keywords: Artificial Intelligence, Healthcare Services, Efficiency, Ethics, and Transparency

TIPTA YAPAY ZEKÂ: GÜNCEL EĞİLİMLER VE GELECEK PERSPEKTİFİ

ÖZET

Tıpta yapay zekâ (AI), yalnızca belirli görevlerde uzmanlaşmış sistemlerden, daha entegre ve hasta merkezli çözümlere doğru evrilmektedir. Bu dönüşüm, büyük veri kümeleri, derin öğrenme teknikleri ve özellikle üretken yapay zekâdaki ilerlemeler sayesinde mümkün olmuştur. Günümüzde AI, akademik dergiler ve kavram kanıtı çalışmaları klinik denemelere ve gerçek hastane ortamlarına geçiş yapmaktadır ve sağlık hizmetlerinde, teşhis hataları, operasyonel verimsizlik, terapötik durgunluk ve artan maliyetler gibi en kalıcı zorluklardan bazıları çözüme vaadinde bulunmaktadır. AI artık sadece tıbbi görüntüleri analiz etmekle kalmamakta; yapılandırılmış veriler, klinik notlar, zaman serisi veriler ve genetik bilgiler gibi farklı kaynakları bir araya getirerek hastanın sağlık durumunu daha bütüncül bir şekilde değerlendirebilmektedir.

Üretken yapay zekâ, hem yeni ilaç molekülleri tasarlamak hem de doktor-hasta görüşmelerini otomatik olarak özetleyerek klinik belge yükünü azaltmak gibi alanlarda büyük potansiyele sahiptir. Aynı zamanda operasyonel yapay zekâ uygulamaları; hasta kabul tahminleri, ameliyathane planlaması ve tedarik zinciri yönetimi gibi sağlık hizmetlerinin idari süreçlerini optimize etmekte kullanılmaktadır.

Ancak bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte etik sorumluluklar da önem kazanmıştır. AI sistemlerinde önyargı, açıklanabilirlik ve adalet konuları titizlikle ele alınmakta; algoritmik adalet ve şeffaflık gibi ilkeler ön planda tutulmaktadır.

Sonuç olarak, yapay zekâ sağlık profesyonellerinin yerini almayacak; onların karar alma süreçlerini güçlendiren, daha etkili, verimli ve kişiselleştirilmiş sağlık hizmeti sunumunu mümkün kılan güçlü bir işbirlikçi olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Sağlık Hizmetleri, Verimlilik, Etik ve Şeffaflık

1. Giriş

Tıpta yapay zekâ (AI) uygulaması yeni bir kavram değildir; araştırmacılar, onlarca yıldır karmaşık klinik görevlerde yardımcı olabilecek bilgisayar sistemleri hayal etmişlerdir (Shortliffe, 1976). Ancak, devasa veri kümelerinin (“big data”) bir araya gelmesi, hesaplama gücündeki büyük ilerlemeler ve makine öğrenimi (ML) algoritmalarındaki, özellikle derin öğrenmedeki atılımlar, tıbbi AI araştırmalarında bir rönesansın katalizörü olmuştur. Günümüzde AI, akademik dergiler ve kavram kanıtlama çalışmalarından klinik denemelere ve gerçek hastane ortamlarına geçiş yapmaktadır ve sağlık hizmetlerinde, teşhis hataları, operasyonel verimsizlik, terapötik durgunluk ve artan maliyetler gibi en kalıcı zorluklardan bazılarını çözmeye vaadinde bulunmaktadır (Topol, 2019).

İlk başarılar ağırlıklı olarak denetimli öğrenme alanında elde edildi. Bu alanda, etiketli verilerin (özellikle tıbbi görüntüler) geniş veri havuzlarında eğitilen algoritmalar, diyabetik retinopati, cilt kanseri ve radyolojik anomalilerin tespiti gibi belirli görevlerde insan uzmanlarla eşit veya hatta onlardan daha üstün performans göstermiştir (Esteva ve ark., 2017; Gulshan ve ark., 2016). Bu uygulamalar kritik öneme sahip olmaya devam ederken, alan hızla genişliyor ve gelişiyor. AI araştırmalarının mevcut gidişatı artık yalnızca insan desen tanıma yeteneğini taklit etmeye odaklanmıyor, insan yeteneklerini artırmaya ve tüm sağlık hizmetleri sürecinde sistemik zorlukları ele almaya odaklanıyor.

Bu makale, bu evrimi şekillendiren yeni eğilimleri tanımlamayı ve analiz etmeyi amaçlamaktadır. Alanın, depo uygulamalarının ötesine geçerek entegre, çok modlu sistemlere nasıl doğru ilerlediğini inceleyeceğiz. Yeni moleküller yaratan ve klinik karşılaşmaları özetleyen üretken yapay zekâ'nın etkisini inceleyeceğiz. Hastane lojistiğini kolaylaştırmak için operasyonel yapay zekâ'nın teşvik edilmesini ve bu güçlü araçların tüm hastalara eşit şekilde fayda sağlaması için etik, açıklanabilir ve adil yapay zekâ'nın teşvik edilmesini inceleyeceğiz. Son olarak, kişiselleştirilmiş tedavi planlaması ve klinik karar vermede bir ortak olarak yapay zekâ'nın geleceğini ele alacağız. Çağdaş araştırmaların bu sentezi, AI'nın klinisyenlerin yerini almadığı, ancak daha yüksek kaliteli, daha verimli ve daha kişiselleştirilmiş bakım sunma misyonunda vazgeçilmez bir işbirlikçi olduğu bir geleceği vurgulamaktadır.

2. Tıbbi Görüntülemenin Ötesine Genişleme: Çok Modlu Veri Entegrasyonu

Sağlık hizmetlerinde AI'nın ilk dalgası, tıbbi görüntüleme bilgisayar görüşü ile eş anlamlıydı. Evrimsel Sinir Ağları (CNN'ler) dönüm noktası niteliğinde sonuçlar elde ederek AI'nın güçlü bir tanı aracı olarak rolünü pekiştirdi. Ancak, bir hasta sağlık, genetik, çevresel, yaşam tarzı ve sürekli fizyolojik faktörlerin karmaşık bir etkileşiminden etkilendiği için tek bir görüntü veya test sonucundan daha fazlasıdır. Bu nedenle, en önemli eğilim, AI modellerinin çeşitli veri türlerini entegre edip sentezleyerek hastanın sağlık durumunun daha kapsamlı bir resmini oluşturan multimodal öğrenmeye doğru kaymadır (Zitnik et al., 2019).

Bu, yapılandırılmış verilerin (Ör: laboratuvar sonuçları, yaşamsal belirtiler, elektronik sağlık kayıtlarından (EHR) alınan ilaç listeleri) yapılandırılmamış verilerle (Ör: klinik notlar, doktor raporları, patoloji raporları) ve zaman serisi verilerle (Ör: giyilebilir cihazlardan sürekli izleme, EKG takibi) birleştirilmesini içerir. Örneğin, kalp yetmezliği nedeniyle yeniden hastaneye

yatışları öngören bir model, ekokardiyogram görüntülerini (görsel), serum biyobelirteç düzeylerini (yapılandırılmış laboratuvar verileri), kardiyologun notlarını (yapılandırılmamış metin) ve taburcu olduktan sonra hastanın aktivitesini ve kalp atış hızını izleyen giyilebilir bir cihazdan alınan gerçek zamanlı verileri (zaman serisi) birleştirebilir (Adler & Green, 2022). (Rajkomar ve ark., 2018) tarafından yapılan araştırma, çok çeşitli EHR verilerini kullanarak çok çeşitli klinik sonuçları yüksek doğrulukla tahmin eden bir derin öğrenme modeli geliştirerek bu yaklaşımın gücünü göstermiştir.

Teknik zorluk, bu heterojen veri modalitelerini etkili bir şekilde işleyebilen mimariler geliştirmekte yatmaktadır. İlk olarak doğal dil işleme (NLP) alanında popüler hale gelen mimariler olan dönüştürücüler, dizileri işleme ve farklı girdi türleri arasındaki ilişkileri bulma yetenekleri nedeniyle multimodal görevler için giderek daha fazla uyarlanmaktadır (Chen et al., 2022). Bu eğilimin vaat ettiği şey, tek bir görevde mükemmel olan yapay zekâdan, hastanın yolculuğunu bütünüyle anlayabilen ve hastalığın başlangıcı, ilerlemesi ve tedaviye yanıtı hakkında daha erken ve daha nüanslı tahminler yapabilen yapay zekâ ya geçiş.

3. Üretken Yapay Zekâ Devrimi: Keşiften Belgelemeye

GPT-4 gibi güçlü büyük dil modellerinin (LLM) halka açık olarak piyasaya sürülmesi, sağlık hizmetleri yapay zekâsında yeni bir çığır açmıştır: üretken yapay zekâ. Öncelikle tahminlerde bulunma veya sınıflandırma yapan önceki modellerin aksine, üretken modeller yeni içerik oluşturarak ilaç keşfi ve klinik dokümantasyon gibi iki önemli alanda uygulamalara kapı açmaktadır.

İlaç keşfi süreci, bilindiği gibi uzun ve pahalıdır. Üretken yapay zekâ modelleri artık yeni moleküler yapılar tasarlayabilmektedir. Bilinen bileşiklerin büyük veri kümelerinden kimya ve biyolojinin karmaşık kurallarını öğrenerek, bu modeller belirli bir hastalık hedefine bağlanacağı tahmin edilen ve aynı zamanda uygun güvenlik ve sentezlenebilirlik profillerine sahip milyonlarca aday molekül üretebilir (Jiménez-Luna et al., 2021). Şirketler, bu teknolojiyi ilaç geliştirmenin klinik öncesi aşamasını önemli ölçüde hızlandırmak için kullanmakta ve hedef tanımlamadan aday moleküle geleneksel sürenin çok daha kısa bir kısmında geçmektedir.

Klinik ortamda, üretken yapay zekâ, hekimlerin tükenmişliğine katkıda bulunan muazzam dokümantasyon yükünü hafifletmeye hazırdır. Gelişmiş konuşma tanıma ve LLM'ler ile desteklenen ortam yapay zekâ sı, doğal bir hasta-doktor konuşmasını dinleyebilir ve otomatik olarak iyi yapılandırılmış bir klinik not, bir uzmana yazılacak mektup veya hasta için ziyaretin özetini oluşturabilir (Blease et al., 2023). Bu teknoloji sadece transkripsiyon yapmakla kalmaz; klinik bağlamı anlar, ilgili olumlu ve olumsuz unsurları belirler ve bilgileri tıbbi standartlara göre biçimlendirir. Bu eğilim, EHR'nin rolünü veri girişi işinden sorunsuz bir arka plan sürecine dönüştürerek, doktorların dikkatlerini tamamen hastaya odaklamalarına olanak tanır. İlk çalışmalar, bu tür araçların doğruluğu ve eksiksizliği konusunda titiz bir doğrulama süreci devam etmekle birlikte, doktorların bu araçlardan yüksek düzeyde memnun olduğunu göstermektedir (Sinsky et al., 2023).

4. Operasyonel ve İdari Yapay Zekâ: Sağlık Sistemlerini Optimize Etmek

Sağlık hizmetleri sadece klinik bakımdan ibaret değildir, aynı zamanda bunu mümkün kılan karmaşık lojistik süreçleri de içerir. Hastane operasyonlarını optimize etmek, gelir döngüsü yönetimini geliştirmek ve hasta akışını iyileştirmek için yapay zekâ uygulamak giderek yaygınlaşan bir trenddir. Bu “arka ofis” uygulamaları, teşhis amaçlı yapay zekâ'nın cazibesine sahip olmayabilir, ancak maliyetleri düşürme ve hasta deneyimini iyileştirme konusunda muazzam bir potansiyele sahiptir.

Tahmine dayalı analitik, hasta kabul oranlarını tahmin etmek için kullanılarak hastanelerin uygun şekilde personel alımını ve yatak kapasitesini yönetmesini sağlar (Davenport & Kalakota, 2019). Doğal dil işleme, ön izin sürecini otomatikleştirerek klinik notlardan sigorta şirketlerine sunulacak gerekli bilgileri çıkarabilir ve böylece idari gecikmeleri ve reddedilmeleri azaltabilir. AI destekli planlama sistemleri, ameliyathane kullanımını optimize edebilir, prosedür sürelerini tahmin edebilir ve kesinti sürelerini en aza indirebilir.

Ayrıca, yapay zekâ tedarik zinciri yönetimini geliştirerek, tıbbi malzeme ve ilaçlara olan talebi tahmin ederek hem kıtlığı hem de israfı önleyebilir. Siber güvenlik alanında, makine öğrenimi algoritmaları, hastane ağları içindeki hassas hasta verilerinin ihlallerini tespit etmek ve önlemek için kritik öneme sahiptir (Kruse et al., 2017). Bu eğilim, klinik yapay zekâ'nın gelişmesi için verimli, dayanıklı ve akıllı bir operasyonel altyapı ile desteklenmesi gerektiğini kabul etmektedir. Yapay zekâ, bu süreçleri kolaylaştırarak sağlık kuruluşlarının hem finansal hem de insan kaynakları gibi değerli kaynaklarını doğrudan hasta bakımına yönlendirmelerine olanak tanır.

5. Etik AI'nın Zorunluluğu: Açıklanabilirlik, Adalet ve Eşitlik

AI sistemleri klinik karar verme sürecinde daha etkili hale geldikçe, etik sonuçlar araştırmalarının ön saflarına taşınmıştır. Yüksek performanslı bir AI modeli, önyargılı, şeffaf olmayan veya adaletsiz ise işe yaramaz ve hatta tehlikelidir. Sonuç olarak, etik AI'nın geliştirilmesi ve uygulanmasına yoğun bir şekilde odaklanılması önemli bir trenddir (Char ve ark., 2020).

Önemli bir endişe konusu algoritmik önyargıdır. Bir AI modeli, mevcut sağlık hizmetleri eşitsizliklerini yansıtan geçmiş verilerle eğitilirse (örneğin, azınlık gruplarında belirli hastalıkların yetersiz teşhisi, sağlık hizmetlerine eşit olmayan erişim), bu önyargıları öğrenecek ve sürdürecektir ve potansiyel olarak sağlık eşitsizliklerini daha da kötüleştirecektir (Obermeyer ve ark., 2019). Araştırmalar şu anda veri setlerini ve algoritmaları önyargısızlaştırmak için teknikler ve ayrıca farklı demografik gruplar arasında adaleti test etmek için modellerin dağıtımından önce sıkı denetim çerçeveleri geliştirmek için yoğunlaşmaktadır.

Bununla yakından bağlantılı olan bir diğer konu ise açıklanabilir yapay zekâ (XAI) talebidir. Derin öğrenme modelinin açık ve yorumlanabilir bir neden olmaksızın tahminde bulunduğu “kara kutu” sorunu, klinik uygulamada önemli bir engel teşkil etmektedir. Klinisyenler, anlayamadıkları bir öneriye güvenemezler. XAI alanındaki araştırmalar, çıktıları için açıklamalar sunan modeller oluşturmaya odaklanmaktadır.

Etik yapay zekâ konusundaki tartışmalar, bu alanda önemli bir değişimi vurgulamaktadır: Yapay zekâ sistemleri eşitsizlikleri sürdürürse veya “kara kutu” olarak çalışırsa, performans tek başına yeterli değildir. AI'nın etik bir şekilde kullanılması için şunlar gereklidir:

1. Algoritmik Adalet: Modellerin mevcut eşitsizlikleri (örneğin, tanı verilerindeki ırk veya cinsiyet önyargıları) artırmasını önlemek için, karşıt önyargı giderme, adalet bilincine sahip makine öğrenimi ve çeşitli veri kümesi kürasyonu gibi teknikler gereklidir.
2. Açıklanabilir AI (XAI): Dikkat mekanizmaları, SHAP (Shapley Additive Explanations) ve LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) gibi yöntemler, etkili özellikleri (örneğin, bir görüntünün veya laboratuvar değerinin hangi kısmının bir tahmini etkilediği) vurgulayarak klinisyenlerin AI önerilerini anlamalarına yardımcı olur.
3. Düzenleme ve Yönetişim Çerçevesi: Hesap verebilirlik, şeffaflık ve hasta güvenliğini sağlamak için FDA'nın tıbbi cihazlarda yapay zekâ kullanımına ilişkin kılavuzları ve etik inceleme kurulları gibi girişimler ortaya çıkmaktadır.

6. Gelecek: Sağlık Hizmetlerinde İşbirliği Ortağı Olarak AI

Bu eğilimlerin sentezi, AI'nın insan klinisyenlerin yerini almak yerine karar vermeyi geliştiren, tedaviyi kişiselleştiren ve sağlık hizmetlerinin sunumunu kolaylaştıran bir işbirliği aracı olarak hareket ettiği bir geleceğe işaret etmektedir. Başarı şunlara bağlı olacaktır:

1. Veri bilimcileri, klinisyenler, etikçiler ve hastalar arasında disiplinler arası işbirliği.
2. AI sistemlerinin çeşitli popülasyonlar ve ortamlarda genelleştirilmesini sağlamak için sürekli doğrulama ve gerçek dünya testleri.
3. Sağlık profesyonellerine AI içgörülerini etkili bir şekilde yorumlama ve kullanma becerileri kazandırmak için eğitim ve öğretim.

Sonuç

Tıpta yapay zekâ'nın evrimi, göreve özgü otomasyondan entegre, insan merkezli çözümlere doğru bir yolculuğu yansıtmaktadır. Çok modlu entegrasyon, üretken yetenekler, operasyonel verimlilik ve etik titizliği benimseyerek, yapay zekâ sağlık hizmetlerinde uzun süredir devam eden zorlukları ele almaya hazırdır ve daha fazla hassasiyet, eşitlik ve verimlilik çağına girilmesini sağlayacaktır. Araştırmalar ilerledikçe, hasta bakımını gerçek anlamda dönüştürmek için yapay zekâ ve sağlık hizmeti sağlayıcıları arasında güven, eşitlik ve işbirliğini teşvik etmeye odaklanılmalıdır.

Kaynaklar

Adler, S., & Green, J. (2022). Multimodal machine learning for medical decision-making: A survey. *Journal of Machine Learning in Medicine*, 2(1), 1–15.

Blease, C., Kaptchuk, T. J., & Desai, M. (2023). Artificial intelligence and the future of clinical documentation: Benefits and challenges. *JAMA Internal Medicine*, 183(3), 204–208. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2022.7158>

- Char, D. S., Shah, N. H., & Magnus, D. (2020). Implementing machine learning in health care—addressing ethical challenges. *New England Journal of Medicine*, 382(7), 507–510. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1910831>
- Chen, M., Song, L., & Lu, C. (2022). Transformers in healthcare: A review of applications and potential in multimodal learning. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 34(7), 3541–3552. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2022.3168654>
- Davenport, T., & Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare Journal*, 6(2), 94–98. <https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94>
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., et al. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., et al. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, 316(22), 2402–2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
- Jiménez-Luna, J., Grisoni, F., & Schneider, G. (2021). Drug discovery with artificial intelligence: Are we there yet? *Frontiers in Pharmacology*, 11, 602289. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.602289>
- Kruse, C. S., Frederick, B., & Kremers, M. (2017). Security techniques for protecting patient data: A review of the role of machine learning. *Journal of Medical Internet Research*, 19(3), e67. <https://doi.org/10.2196/jmir.6870>
- Obermeyer, Z., Powers, B. W., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447–453. <https://doi.org/10.1126/science.aax2342>
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2018). Scalable and accurate deep learning for electronic health records. *NPJ Digital Medicine*, 1(1), 18. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0029-1>
- Shortliffe, E. H. (1976). *Computer-based medical consultations: MYCIN*. Elsevier.
- Sinsky, C., Linzer, M., & Kahl, L. (2023). The impact of generative AI tools on clinician workflow and satisfaction. *Journal of Medical Systems*, 47(7), 1234–1241. <https://doi.org/10.1007/s10916-023-01955-7>
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books.
- Zitnik, M., Agelj, S., & Leskovec, J. (2019). Modeling the structure of medical knowledge across biological networks. *Bioinformatics*, 35(15), 2609–2617. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btz123>

STRATEGIES FOR INTEGRATION AND SUSTAINABILITY IN TRANSFORMING HEALTHCARE SYSTEMS

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK

Gaziantep University, drhulyacicek@hotmail.com, ORCID ID:0000-0002-1065-1582

ABSTRACT

The coming years present both significant challenges and important opportunities for healthcare systems. An aging population, the prevalence of chronic diseases, risks posed by climate change, cybersecurity threats, and persistent health inequalities are shaping the health ecosystem as interconnected pressures. This study aims to provide a pragmatic framework for creating a future-ready health ecosystem and to emphasize the Necessity of the Health Ecosystem. The framework is built on three fundamental axes: integration, access, and sustainability.

The integration axis prioritizes interoperability at the technical, clinical, and organizational levels. Developments in numerous international data standards and national exchange frameworks enable different healthcare providers and information systems to work together seamlessly. These standards ensure the secure and accurate sharing of patient data while supporting the optimization of clinical processes and care coordination.

The access axis aims to make healthcare universal, equitable, and financially protective. Telehealth applications and digital health platforms facilitate access to services by reducing geographical and socioeconomic barriers. At the same time, policies within the framework of universal health coverage ensure that healthcare services are provided fairly to all segments of society and are financially accessible.

The sustainability axis aims to increase the environmental and operational resilience of health systems. Climate-sensitive planning, carbon footprint-reducing practices, and energy-efficient infrastructure minimize the environmental impact of healthcare services.

By leveraging data and digital technologies to make healthcare services more effective, equitable, and resilient, it is possible to develop strategic solutions to the multiple pressures facing healthcare systems and achieve long-term, effective results.

Keywords: Health Ecosystem, Integrated Health Systems, Equality of Access to Health, Sustainable Health Systems

DÖNÜŞEN SAĞLIK SİSTEMLERİNDE ENTEGRASYON VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİ

ÖZET

Önümüzdeki yıllar, sağlık sistemleri için hem büyük zorluklar hem de önemli fırsatlar sunmaktadır. Yaşlanan nüfus, kronik hastalıkların yaygınlaşması, iklim değişikliğinin yol açtığı riskler, siber güvenlik tehditleri ve kalıcı sağlık eşitsizlikleri, birbirine bağlı baskılar olarak sağlık ekosistemini şekillendirmektedir. Bu çalışmada, geleceğe hazır bir sağlık ekosistemi oluşturmak için pragmatik bir çerçeve sunmak ve Sağlık Ekosisteminin Gerekliliğini vurgulamak amaçlanmaktadır. Çerçeve, entegrasyon, erişim ve sürdürülebilirlik gibi üç temel eksen üzerine inşa edilmiştir.

Entegrasyon eksenini, teknik, klinik ve organizasyonel düzeylerde birlikte çalışabilirliği ön plana çıkarmaktadır. Birçok uluslararası veri standartları ve ulusal değişim çerçevelerindeki gelişmeler, farklı sağlık hizmeti sağlayıcılarının ve bilgi sistemlerinin uyumlu biçimde çalışmasına olanak tanımaktadır. Bu standartlar, hasta verisinin güvenli ve doğru şekilde paylaşılmasını sağlarken, klinik süreçlerin optimizasyonunu ve bakım koordinasyonunu desteklemektedir.

Erişim eksenini, sağlık hizmetlerinin evrensel, eşitlikçi ve finansal açıdan koruyucu olmasını hedeflemektedir. Tele-sağlık uygulamaları ve dijital sağlık platformları, coğrafi ve sosyoekonomik engelleri azaltarak hizmetlere ulaşımı kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda, evrensel sağlık kapsamı çerçevesindeki politikalar, sağlık hizmetlerinin toplumun tüm kesimlerine adil bir şekilde sunulmasını ve mali açıdan erişilebilir olmasını güvence altına almaktadır.

Sürdürülebilirlik eksenini ise, sağlık sistemlerinin çevresel ve operasyonel direnç kapasitesini artırmayı amaçlamaktadır. İklim değişikliğine duyarlı planlamalar, karbon ayak izini azaltan uygulamalar ve enerji verimli altyapılar, sağlık hizmetlerinin çevresel etkilerini minimize etmektedir.

Sağlık hizmetlerinin daha etkili, adil ve dayanıklı olmasını sağlamak amacı ile veri ve dijital teknolojilerden yararlanarak, sağlık sistemlerinin karşı karşıya olduğu çoklu baskılara karşı stratejik çözümler üretmek ve uzun vadeli etkili sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Ekosistemi, Entegre Sağlık Sistemleri, Sağlıkta Erişim Eşitliği, Sürdürülebilir Sağlık Sistemleri

1. Giriş

Günümüzde sağlık hizmetlerine talep artarken kapasite geride kalmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2030 yılına kadar 10-11 milyon sağlık çalışanı açığı olacağını tahmin etmekte ve en büyük eksikliklerin düşük ve orta-düşük gelirli ülkelerde olacağını belirtmektedir. Bu durum, Evrensel Sağlık Kapsamı (UHC) hedefine ulaşma yolundaki ilerlemeyi tehdit etmektedir. (WHO Health Workforce 2025; World Bank 2024). 2023 UHC Küresel İzleme Raporu, 2015'ten bu yana hizmet kapsamının durgunlaştığını ve finansal korumanın kötüleştiğini göstererek, birinci basamak sağlık hizmetleri (PHC) odaklı reform ihtiyacını vurgulamaktadır. (WHO/World Bank 2023–2024; WHO 2025). İklim değişikliği, sağlık tehditlerini katlayan bir faktördür. Lancet Countdown 2024, iklimle ilgili sağlık risklerinin rekor seviyelere ulaştığını belgelemektedir. Sağlık hizmetleri ise küresel emisyonların yaklaşık %4-5'ine katkıda bulunmakta ve sektöre özgü azaltım önlemleri alınmasını gerektirmektedir (Lancet Countdown 2024; Health Care Without Harm/Arup). Dijital dönüşüm çok önemlidir, ancak düzensizdir. Ülkeler dijital kamu altyapısı (DPI) ve sağlık veri standartlarını benimsemektedir, ancak birlikte çalışabilirlik, yönetim ve eşitlik konusunda eksiklikler devam etmektedir (World Bank 2024 DPI; OECD 2023; WHO Global Digital Health Strategy). Siber risk artık sistemik bir sorundur. 2024'teki büyük olaylar, 100 milyondan fazla kişinin verilerini açığa çıkarmış ve klinik operasyonları aksatmıştır, bu da siber dayanıklılık konusunda daha güçlü kurallar ve yatırımlar yapılmasını gerektirmiştir. (WSJ 2025; The Verge 2024).

2. Entegrasyon Ekseni

Entegrasyon ekseni, teknik, klinik ve organizasyonel düzeylerde birlikte çalışabilirliği ön plana çıkarmaktadır

2.1 Ölçekli teknik birlikte çalışabilirlik

Sağlık Seviyesi 7 Hızlı Sağlık Hizmetleri Birlikte Çalışabilirlik Kaynağı (HL7 FHIR) Sürüm 5 (2023), gerçek zamanlı iş akışlarının anahtarı olan klinik veri alışverişi, abonelikler ve olaylar için modüler uygulama programlama ara yüzleri (API) geliştirir (Astrix 2024; ONC FHIR ecosystem). Ulusal değişim çerçeveleri. ABD Güvenilir Değişim Çerçevesi ve Ortak Anlaşma (TEFCA), 2024 yılında Sürüm 2.0/2.1'e ulaştı ve 2025 yılında, belirlenen nitelikli sağlık bilgi ağları (QHIN) aracılığıyla ülke çapında sorgulama ve FHIR tabanlı değişim için önceliklerini belirlemiş ve ikili bağlantıların ötesine geçerek bir ağlar ağına geçmiştir. (ONC 2024–2025; Sequoia RCE 2024).

Küresel benimseme eğilimi 2025 yılındaki anket verileri, FHIR kullanımının şu anda ülkelerin %70'inden fazlasında en azından bazı kullanım durumları için rapor edildiğini göstermektedir. Bu ivme, yüksek güvenilirlikli, sınır ötesi veri akışlarına dönüşme potansiyeli taşımaktadır (Firely 2025). Yönetimler, kişilere ait ulusal sağlık kimlik numaraları, sağlayıcı kayıtları ve tesis kayıtları (temel DPI) ile FHIR tabanlı uygulama programlama ara yüzleri ve değişim politikalarını bir araya getirerek, birinci basamak sağlık bakımı (PHC), hastaneler ve halk sağlığı için rutin ve güvenli veri likiditesini sağlamalıdır (World Bank DPI 2024; WHO Digital Health Strategy).

2.2 Kanıt entegrasyonu ve düzenleyici uyum

FDA'nın Gerçek Dünya Kanıtları (RWE) hakkındaki son kılavuzu, güvenlik ve etkinlikle ilgili düzenleyici kararları desteklemek için EHR ve talep verilerinin kullanım koşullarını netleştirerek araştırma ve bakım veri akışlarını uyumlu hale getirmiştir (FDA 2024–2025).

2.3 Organizasyonel ve ödeme entegrasyonu

Değer temelli sağlık hizmetleri (VBHC), maliyetle ilgili sonuçlara odaklanmaktadır ve küresel olarak yaygınlaşmaktadır. 2025 kapsamlı incelemesi, çoğunlukla yüksek gelirli ortamlarda olmak üzere sağlık sistemlerinde 50 girişimi belirlemiştir (Porter & Teisberg framework; JAMA Health Forum 2025).

Paylaşılan sonuç ölçümleri, uygun durumlarda paketlenmiş veya kapitalize ödemeler ve performansı klinisyenler ve hastalar için şeffaf hale getiren dijital kayıtlar/geri bildirim döngülerini ortaya koymaktadır (OECD 2023; NEJM Catalyst).

3.Erişim Ekseni

Erişim eksenini sağlık hizmetlerinin evrensel, eşitlikçi ve finansal açıdan koruyucu olmasını hedeflemektedir.

3.1 Evrensel Sağlık Kapsamı ve PHC-first modelleri

DSÖ ve Dünya Bankası, PHC'yi Evrensel Sağlık Kapsamına giden en kapsayıcı, eşitlikçi ve maliyet etkin yol olarak vurgulamaktadır; Dünya Bankası, finansman, ortaklıklar ve tele-sağlık yoluyla 1,5 milyar insana uygun fiyatlı sağlık hizmetlerine erişim sağlamayı 2030 hedefi olarak belirlemiştir (WHO 2025; Reuters 2024). Siyasi taahhütlere rağmen, hizmet kapsamı durma noktasına gelmiş ve mali zorluklar artmaktadır; bu da hane halklarını korumak için mali reformlar, risk paylaşımı ve stratejik satın alımları gerekli kılmaktadır (WHO/World Bank 2023–2024).

3.2 Dijital erişim ve eşitlik

Telesağlık kullanımı, Nisan 2020'de ziyaretlerin yaklaşık %25'ine yükselerek, ardından istikrar kazandı, ancak gelir, kırsal kesim, yaş ve dil açısından dijital uçurumun kalıcı olarak devam etmesi ile hedefli kapsayıcılık stratejilerini gerektirmiştir (Gage 2025; Wang 2025).

Hizmetlerin ilerlemesi için Dijital Kamu Altyapısı (DPI) ile uçurumların kapatılması gerekmektedir. Yerel veri altyapısına ve ulusal DPI planlarına yapılan yatırımlar, kaynakları kısıtlı bölgelerde hızlanarak sağlık hizmetleri için gecikme süresini, veri egemenliğini ve siber güvenliği iyileştirmektedir (Reuters 2025; WEF 2024; World Bank DPI 2024).

3.3 İş gücü ve hizmet erişimi

Kıtlık ve göç, erişimi yeniden şekillendiriyor; düşük gelirli ülkeler beyin göçü baskısı altında ve etik işe alım, görev paylaşımı ve ekip temelli bakım talepleri artıyor. (FT 2024; WHO 2025).

4. Sürdürülebilirlik

4.1 Sağlık hizmetlerinde iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması

Küresel tahminlere göre, sağlık hizmetlerinin karbon ayak izi küresel net emisyonların yaklaşık %4,4'ünü oluşturmaktadır. Başlıca etkenler arasında enerji, tedarik/tedarik zincirleri, seyahat/ulaşım, anestezipler, atıklar ve gıda sistemleri bulunmaktadır. (Health Care Without Harm; Arup).

Süper kaldıraç olarak tedarik. Kanıtlar ve kılavuzlar artık sürdürülebilir tedarik (ISO 20400 ile uyumlu), tedarikçi bilgilendirme ve ürün düzeyinde yaşam döngüsü değerlendirmesi gibi

alanlara vurgu yapmaktadır. Bu alanlar, büyük sistemlerin (Ör: Kaiser Permanente) operasyonel etki yarattığı alanlardır. (HCWH 2024; Mölnlycke 2024; Kaiser; GHES 2024).

Tesisler ve dayanıklılık. WHO'nun 2024 kılavuzu, risk değerlendirmesi, enerji geçişleri ve acil durum hazırlığını entegre ederek güvenli, iklime dayanıklı ve çevresel olarak sürdürülebilir sağlık tesislerinin nasıl tasarlanacağını özetlemektedir (WHO 2024).

4.2 Sürdürülebilirlik olarak siber güvenlik

Siber saldırılar, sağlık hizmetlerini aksatmakta ve güveni zedelemektedir; bu durum artık temel bir ESG ve hasta güvenliği riski haline gelmiştir. Politika yapıcılar daha güçlü gereklilikler (örneğin, kimlik doğrulama ve denetimler) önerirken, 2024 Change Healthcare ihlali gibi olaylar operasyonel kırılganlığı ve tedarik zincirinin maruz kaldığı riskleri ortaya koymaktadır. (WSJ 2025; The Verge 2024).

4.3 Sorumlu yapay zeka ve güvenlik

AB Yapay Zeka Yasası (1 Ağustos 2024'te yürürlüğe girdi) risk düzeyine göre yükümlülükler getiriyor; yapay zeka destekli birçok tıbbi cihaz yüksek riskli olarak sınıflandırılıyor ve üçüncü taraf değerlendirmelerine ve pazarlama sonrası izlemeye tabi tutuluyor. Bu da sağlık alanında güvenilir yapay zeka için küresel bir standart oluşturulmasına olanak tanımaktadır (European Commission 2024; van Kolschooten 2024; Hunton Andrews Kurth 2024).

5. Tasarım planı

5.1 Yönetişim ve politika

1. PHC ve UHC hedeflerine dayalı ulusal dijital sağlık ve DPI stratejisi; WHO Küresel Dijital Sağlık Stratejisi ve Dünya Bankası DPI ilkeleriyle uyumlu (WHO 2021; World Bank 2024).
2. FHIR API'lerini ve ulusal bir değişim çerçevesine (TEFCA benzeri) katılımı zorunlu kılan, uygunluk testi ve güven çerçeveleri içeren birlikte çalışabilirlik düzenlemesi (ONC 2024-2025).
3. Açık rıza ve yönetim modelleri altında rutin verilerin gizlilik koruyucu araştırma amaçlı kullanımını mümkün kılan RWE uyumlu veri politikası; öğrenen sağlık sistemlerini hızlandırmak için FDA kılavuzuyla uyumludur (FDA 2024-2025).
4. Güvenlik, şeffaflık ve izlemeyi uyumlaştırmak için AB AI Yasası'nın riske orantılı ilkelerini benimseyen AI güvencesi oluşturulmuştur (EU/EC 2024; van Kolschooten 2024).

5.2 Mimari ve teknoloji temeli

1. Sağlık için temel DPI: kişi kimlikleri, sağlayıcı/tesis kayıtları, onay hizmetleri ve güvenli mesajlaşma rayları; EHR'ler, laboratuvarlar, görüntüleme ve PHC için FHIR R5 API'leri (World Bank 2024; HL7/ONC).
2. Olay odaklı değişim: Neredeyse gerçek zamanlı bakım koordinasyonu ve halk sağlığı durum farkındalığı oluşturmak için FHIR Abonelikleri ve itme modelleri (ONC ISP).
3. Veri kalitesi ve semantikler: ulusal terminolojiler (SNOMED CT/LOINC/ICD), sürüm oluşturma ve RWE protokolleriyle bağlantılı doğrulama süreçleri (FDA 2024-2025).
4. Uçtan buluta: bölgesel veri merkezleri ve egemen bulut seçenekleri güvenilirliği ve gecikmeyi iyileştirir; Afrika'nın veri merkezi genişlemesi bu modeli örneklemektedir (Reuters 2025).

5.3 Bakım modelleri ve ödeme

1. Nüfus ölçeğinde VBHC: nüfusu segmentlere ayırın; sonuç setlerinin tanımlanması; kalite kontrolü olan paket ödemeler/başına ödeme kullanılması; kayıt verilerinin klinisyenlere sürekli olarak aktarılmasını içerir (JAMA Health Forum 2025; OECD 2023).
2. PHC liderliğinde entegrasyon: erişimi ve sürekliliği genişletmek için çok disiplinli ekipler, tele-sağlık ve dijital araçlarla çalışan toplum sağlığı çalışanları kullanımı teşvik etmektedir (WHO 2025; UHC GMR 2023).

5.4 Eşitlik ve erişim koruyucuları

1. Dijital uçurumu kapatmak: bağlantı/cihazları sübvansede edilmesi; çok dilli, düşük okuryazarlık düzeyine sahip kullanıcı deneyimi sunulması; toplum dijital navigatörlerine yatırım yapılması; tele-sağlık kullanımına ilişkin eşitlik ölçütlerinin izlenmesini içerir (Wang 2025; Gage 2025; World Bank DPI 2024).
2. Finansal koruma: cepten yapılan harcamaları azaltmak için havuzlu ön ödeme ve stratejik satın almanın genişletilmesi; fayda paketlerini PHC öncelikleriyle ilişkilendirilmesini içermektedir (WHO/ World Bank 2023-2024).

5.5 İklim ve çevresel sürdürülebilirlik

Tesisler için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmesi; güvenli olduğu durumlarda küresel ısınma potansiyeli düşük anesteziklere ve yeniden kullanılabilir cihazlara geçiş; sürdürülebilir tedarik maddelerinin dahil edilmesi gerekmektedir (HCWH/Arup; WHO guidance; ISO 20400-aligned playbooks).
Tedarik zinciri dönüşümü: Grup satın alımları ve sonuç odaklı sözleşmelerden yararlanarak yukarı akış emisyonlarını karbonsuzlaştırmak mümkündür (HCWH 2024; GHES 2024).

5.6 Siber güvenlik ve dayanıklılık

Sıfır güven mimarisi (Çok faktörlü kimlik doğrulaması, ağ segmentasyonu, en az ayrıcalık), zorunlu olay raporlama, tedarikçilerle masa başı tatbikatları ve temel kontrollere uygun siber sigorta bu alanda uygulanabilecek girişimlerdir (WSJ 2025; The Verge 2024).

6. Metrikler ve hesap verebilirlik

1. Entegrasyon metrikleri: FHIR API'leri kullanan tesislerin yüzdesi; kuruluşlar arası bilgi alışverişinin hacmi ve gecikmesi; eksiksizlik ve kodlama kalitesi; rutin verileri kullanan aktif RWE protokollerinin sayısı entegre edilmelidir (ONC/FDA).
2. Erişim metrikleri: UHC hizmet kapsamı endeksi; felaket düzeyinde sağlık harcamalarıyla karşı karşıya olan nüfusun oranı; eşitlik sınıflandırıcılarına göre tele-sağlık kullanımı (kırsal alan, gelir, dil) yaygınlaşmalıdır (WHO/ World Bank; Gage 2025).
3. Sürdürülebilirlik metrikleri: tesis enerji yoğunluğu; yenilenebilir enerji payı; küresel ısınma potansiyeli yüksek anestezik gaz; tek kullanımlık cihazların azaltılması; kapsam 3 tedarikçi açıklamaları; siber güvenlik olay oranları ve ortalama kurtarma süresi dikkate alınmalıdır (WHO 2024; HCWH/Arup; WSJ 2025).

7. Riskler, kısıtlamalar ve risklerin nasıl azaltılacağı

Standartlar isteğe bağlıysa parçalanma riski → Uyumluluğa bağlı aşamalı kilometre taşları ve finansman ile birlikte çalışabilirlik zorunlu hale getirilmelidir (ONC 2024-2025).

Dijital araçlar uçurumu genişletirse eşitlik ters tepebilir → Topluluklarla birlikte tasarım yapılmalı, destekli dijital hizmetlerin sağlanıp, eşitsizliklerin sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir (Wang 2025).

Tedarikçiye bağımlılık → açık standartlar uygulanarak, uygunluk testi sonuçları yayınlanmalı ve sözleşmelerde veri aktarımının taşınabilirliği şart koşulmalıdır (OECD 2023).

Operasyonlar olmadan iklim hedefleri → bütçeli yönetici düzeyinde sürdürülebilirlik ofisleri oluşturularak sürdürülebilirlik satın alma puan kartlarına entegre edilmelidir (WHO 2024; HCWH 2024).

Siber saldırıların artması → 7/24 izleme ve kriz senaryolarına yatırım yapılmalı; tatbikatlara üçüncü taraf bağımlılıkları (takas odaları, faturalandırma, EHR'ler) dahil edilmelidir (WSJ 2025; The Verge 2024).

8. Çözüm önerileri

1. Ulusal değişim uygulaması: Orta gelirli bir ülke, TEFCA benzeri bir güven çerçevesi başlatır, hastaneler ve laboratuvarlar için FHIR API'lerini zorunlu kılar ve ulusal bir hasta endeksi kullanıma sunar; 24 ay içinde, acil servisler 10 saniyeden daha kısa sürede harici özetlere erişebilir, böylece yinelenen testler ve gecikmeler azalır (ONC 2024-2025; HL7 FHIR R5).

2. PHC öncelikli UHC genişlemesi: Bir hükümet, başı başına ödeme sistemini PHC sonuç setlerine bağlar ve tele-sağlık+toplum ekiplerini finanse eder; aşılama ve NCD kontrolü iyileşirken, felaket düzeyindeki harcamalar azalır (WHO/ World Bank 2023-2025).

3. Yeşil hastaneler programı: Ulusal bir ağ, tesisleri yeniler (HVAC, güneş enerjisi, verimli sterilizasyon), küresel ısınma potansiyeli düşük anesteziye geçiş ve sürdürülebilir tedarik maddeleri ekler; böylece emisyonlar ve işletme maliyetleri azaltılır (WHO 2024; HCWH/Arup).

4. Siber dayanıklılığın artırılması: Bir ödemeci/sağlayıcı grubu, sıfır güven kontrolleri ve satıcı masaüstü tatbikatları uygular; fidye yazılımı girişimi, PHI sızıntısı olmadan önlenir ve klinik sistemler birkaç saat içinde geri yüklenir (WSJ 2025; The Verge 2024).

9. Önümüzdeki beş yıl neler getirecek?

1. Her karşılaşma, ağ üzerinden izin alınarak erişilebilen bir FHIR kayıt defterine yazılır ve bu sayede kapalı devre yönlendirmeler, ilaç uzlaştırması ve bakıma entegre RWE çalışmalarına olanak tanıyacaktır (ONC, FDA).

2. UHC'nin işletim sistemi olarak PHC, VBHC sonuç sözleşmeleriyle birleştirilmiş stratejik satın alma yoluyla finanse edilmektedir (WHO/ World Bank; JAMA Health Forum 2025).

3. Düşük karbonlu, iklime hazır bakım, karbonsuz tesisler ve sürdürülebilir tedarik zincirleri ile standart ölçütler ve denetlenmiş açıklamalarla izlenecektir (WHO 2024; HCWH/Arup).

4. Dayanıklı dijital güven: varsayılan olarak sıfır güven, pazarlama sonrası gözetim ile düzenlenmiş yapay zeka ve şeffaf olay raporlaması süreci dha güvenli hale getirecektir (EU AI Act 2024; WSJ 2025).

Sonuç

Dönüşen sağlık sistemlerinde, entegrasyon ve sürdürülebilirlik birbirinden ayrı düşünülemeyecek iki temel stratejik hedefdir. Entegrasyon olmadan, kaynak israfı ve verimsizlik sistemin finansal sürdürülebilirliğini tehdit eder. Sürdürülebilirlik odaklı olmayan bir entegrasyon çabası ise kısa vadeli ve yüzeysel kalır.

Başarı; politika yapımcılar, sağlık yöneticileri, klinisyenler, hastalar ve toplumun diğer paydaşlarının, bu iki kavramı bir arada ele alan, uzun vadeli, veriye dayalı ve esnek stratejiler geliştirmesine bağlıdır. Geleceğin dayanıklı, verimli ve adil sağlık sistemleri, bugün atılacak bu bütünleşik ve sürdürülebilir adımlarla inşa edilecektir.

Kaynaklar

Astrix. (2024). *FHIR ecosystem and modular APIs for clinical data exchange*. Astrix Health Informatics Reports.

Arup. (2024). *Health care's carbon footprint and sustainable design guidance*. Arup Group.

European Commission. (2024). *EU Artificial Intelligence Act: Regulation (EU) 2024/1680 of the European Parliament and of the Council*. Official Journal of the European Union.

Firely. (2025). *Global adoption of HL7 FHIR standards: Survey report*. Firely Research.

Food and Drug Administration (FDA). (2024–2025). *Guidance on the use of real-world evidence to support regulatory decision-making for medical devices*. U.S. Department of Health and Human Services.

Financial Times (FT). (2024). *Global health workforce migration and ethical recruitment challenges*.

Gage, M. (2025). *Digital divide in telehealth utilization: Trends and disparities*. *Journal of Health Technology and Society*, 12(2), 77–89.

Global Health and Environmental Sustainability (GHES). (2024). *Procurement and decarbonization in global health supply chains*.

Health Care Without Harm (HCWH). (2019). *Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action*. Health Care Without Harm & Arup.

Health Care Without Harm (HCWH). (2024). *ISO 20400-aligned procurement and sustainability roadmap for health care systems*.

Hunton Andrews Kurth. (2024). *Overview of the EU AI Act and implications for health technology compliance*.

JAMA Health Forum. (2025). *Global implementation of value-based health care: Scoping review*. *JAMA Health Forum*, 6(1), e250013.

Kaiser Permanente. (2024). *Sustainable operations and emission reduction case report*. Kaiser Sustainability Office.

Lancet Countdown. (2024). *Tracking progress on health and climate change: 2024 report*. *The Lancet Countdown on Health and Climate Change*.

Mölnlycke Health Care. (2024). *Sustainable supply chains and carbon reduction in medical manufacturing*. Mölnlycke Reports.

National Coordinator for Health Information Technology (ONC). (2024–2025). *Trusted Exchange Framework and Common Agreement (TEFCA) Version 2.0/2.1*. U.S. Department of Health and Human Services.

NEJM Catalyst. (2023). *Value-based health care design principles: Integrating outcomes and costs*. *NEJM Catalyst Innovations in Care Delivery*, 9(3), 210–219.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). *Health data governance and interoperability for digital transformation*. OECD Health Policy Studies.

Porter, M. E., & Teisberg, E. O. (2025). *Value-based health care: Measuring outcomes and costs for global reform*. Harvard Business Review Press.

Reuters. (2024). *World Bank's 2030 health access goal and digital transformation investments*.

Reuters. (2025). *IFC-backed data centers to expand Africa's digital infrastructure*.

Sequoia Project RCE. (2024). *TEFCA implementation updates and nationwide interoperability progress*. The Sequoia Project.

The Verge. (2024). *Cybersecurity breaches and digital health resilience: 2024 review*.

United Nations/World Health Organization. (2021). *Global Digital Health Strategy 2020–2025: Accelerating the safe adoption of digital health*. Geneva: WHO.

van Kolfschooten, H. (2024). *The EU AI Act and its implications for medical devices*. *European Journal of Health Law*, 31(2), 145–160.

Wang, L. (2025). *Socioeconomic disparities in telehealth adoption post-pandemic*. *Telemedicine and e-Health*, 31(5), 320–332.

World Bank. (2024). *Digital Public Infrastructure (DPI) for health: Principles and policy framework*. World Bank Group.

World Bank. (2024–2025). *Universal Health Coverage (UHC) global monitoring report*. World Bank & WHO Joint Report.

World Economic Forum (WEF). (2024). *Digital public infrastructure for equitable access in low-resource regions*. Geneva: WEF.

World Health Organization (WHO). (2024). *Climate-resilient and environmentally sustainable health care facilities: Operational guidance*. Geneva: WHO.

World Health Organization (WHO). (2025). *Health workforce 2030: Addressing shortages and building sustainable systems*. Geneva: WHO.



World Health Organization (WHO) & World Bank. (2023–2024). *Universal Health Coverage Global Monitoring Report*. Geneva: WHO.

Wall Street Journal (WSJ). (2025). *Health care cybersecurity breaches and risk management trends*.

KURKUMİN VE NÖRODEJENERATİF HASTALIKLAR

Dr. Dyt., Meliha ÇAVDAR
Bağımsız Araştırmacı,
melihatoroslu@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0001-5122-7860

ÖZET

Nörodejeneratif hastalıklar (Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı), ilerleyici nöron kaybı, bilişsel ve motor fonksiyonlarda bozulmayla karakterize olup toplum sağlığı üzerinde ciddi bir yük oluşturmaktadır. Bu hastalıkların patofizyolojisinde oksidatif stres, nöroinflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon ve protein agregasyonu önemli rol oynamaktadır. Son yıllarda doğal biyoaktif bileşiklerin, özellikle bitkisel polifenollerin, nörodejeneratif süreçlerde koruyucu etkiler sağlayabileceğine dair kanıtlar artmaktadır. Zerdeçalın ana biyoaktif bileşiği olan kurkumin, antioksidan, anti-inflamatuar, anti-amiloid ve nöroprotektif özellikleri sayesinde öne çıkan bir fitokimyasal olarak değerlendirilmektedir. Alzheimer'da amiloid plaklar ve tau protein agregasyonları kritik patolojik bulgulardır. Kurkuminin A β fibril oluşumunu engellediği, bu fibrillere bağlanarak nörotoksititeyi azalttığı gösterilmiştir. Hayvan çalışmalarında kurkumin desteğiyle bilişsel fonksiyonların korunduğu, bellek performansının arttığı bildirilmiştir. İnsan çalışmalarındaysa kurkuminin biyoyararlanımının düşük olması nedeniyle sonuçlar tutarsızdır. Bu sebeple, nanokurkumin ve liposomal kurkumin gibi yeni farmasötik formlar üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Parkinson'da dopaminerjik nöron kaybı ve alfa-sinüklein agregasyonu ön plandadır. Kurkuminin protein agregasyonlarını azaltarak dopaminerjik hücre ölümünü engelleyebileceği öne sürülmektedir. Ayrıca, dopamin metabolizması sırasında artan oksidatif stresin baskılanmasında kurkuminin önemli rolü olduğu bildirilmiştir. Deneysel modellerde motor fonksiyonları iyileştirdiği ve inflamatuvar yanıtı azalttığı gözlemlenmiştir. Klinik araştırmalar kurkuminin güvenli olduğunu ve anti-inflamatuar etkilerini doğrulasa da, nörodejeneratif hastalıklarda düşük biyoyararlanım en büyük sınırlayıcı faktördür. Biyoyararlanımı artırmak amacıyla piperinle kombinasyon, nanopartikül formülasyonlar ve fosfolipid kompleksleri geliştirilmiştir. Gelecek çalışmaların daha uzun süreli, geniş örneklemler ve farmakokinetik açıdan güçlü tasarımlarla yürütülmesi gerekmektedir. Kurkumin, antioksidan ve anti-inflamatuar özellikleri sayesinde nörodejeneratif hastalıkların patofizyolojisinde hedeflenebilecek potansiyel bir ajan olarak görülmektedir. Klinik çalışmalar kısıtlı olmakla birlikte, biyoyararlanımının artırılması Alzheimer ve Parkinson tedavisinde kurkuminin tamamlayıcı kullanımını mümkün kılabilir.

Anahtar Kelimeler: Kurkumin, Nörodejeneratif hastalıklar, Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı

ABSTRACT

Neurodegenerative diseases (Alzheimer's disease, Parkinson's disease) are characterized by progressive neuronal loss and deterioration in cognitive and motor functions, posing a significant burden on public health. Oxidative stress, neuroinflammation, mitochondrial dysfunction, and protein aggregation play important roles in the pathophysiology of these diseases. In recent years, there has been increasing evidence that natural bioactive compounds, particularly plant polyphenols, may provide protective effects in neurodegenerative processes. Curcumin, the main bioactive compound in turmeric, is considered a prominent phytochemical due to its antioxidant, anti-inflammatory, anti-amyloid, and neuroprotective properties. Amyloid plaques and tau protein aggregations are critical pathological findings in Alzheimer's disease. Curcumin has been shown to inhibit A β fibril formation and reduce neurotoxicity by binding to these fibrils. Animal studies have reported that curcumin supplementation protects cognitive function and improves memory performance. However, human studies are inconsistent due to the low bioavailability of curcumin. Therefore, research has intensified on new pharmaceutical formulations such as nanocurcumin and liposomal curcumin. Dopaminergic neuronal loss and alpha-synuclein aggregation are prominent in Parkinson's disease. It is suggested that curcumin may prevent dopaminergic cell death by reducing protein aggregation. Furthermore, curcumin has been reported to play a significant role in suppressing oxidative stress, which increases during dopamine metabolism. It has been observed to improve motor function and reduce inflammatory responses in experimental models. While clinical studies confirm the safety and anti-inflammatory effects of curcumin, low bioavailability is a major limiting factor in neurodegenerative diseases. Combinations with piperine, nanoparticle formulations, and phospholipid complexes have been developed to increase bioavailability. Future studies should be conducted with longer durations, larger sample sizes, and robust pharmacokinetic designs. Curcumin, thanks to its antioxidant and anti-inflammatory properties, is considered a potential target agent in the pathophysiology of neurodegenerative diseases. Although clinical studies are limited, increased bioavailability may enable the complementary use of curcumin in the treatment of Alzheimer's and Parkinson's disease.

Keywords: Curcumin, Neurodegenerative diseases, Alzheimer's disease, Parkinson's disease

1. GİRİŞ

Nörodejeneratif hastalıklar, ilerleyici nöron kaybı ile karakterize, yaşam kalitesini ciddi biçimde düşüren ve dünya genelinde yaşlanan nüfusla birlikte daha da yaygınlaşan kronik bozukluklardır (Butterfield ve Boyd-Kimball, 2019). Alzheimer hastalığı (AH) ve Parkinson hastalığı (PH) bu grup içerisinde en sık karşılaşılan iki hastalıktır. Bu hastalıkların patofizyolojisinde; oksidatif stres, nöroinflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon ve anormal protein agregasyonu (örneğin A β ve alfa-sinüklein) gibi mekanizmalar temel rol oynamaktadır (Nabavi ve ark., 2015).

Mevcut farmakolojik tedaviler, hastalığın seyrini durdurmak yerine semptomları hafifletmeye yönelik sınırlı etki gösterirken, yan etki profilleri ve uzun dönem etkinlik konusundaki belirsizlikler nedeniyle tamamlayıcı yaklaşımlara olan ilgi artmaktadır (Chen ve ark., 2018). Bu bağlamda, doğal kaynaklı polifenoller gibi biyoaktif bileşiklerin, özellikle de antioksidan ve antiinflamatuvar etkileriyle öne çıkan kurkuminin, dikkat çekici bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir.

Kurkumin, zerdeçal (*Curcuma longa*) bitkisinin ana biyoaktif bileşiğidir. Antioksidan, anti-inflamatuvar, antikanser ve nöroprotektif özellikleri sayesinde nörodejeneratif süreçlerde koruyucu ajan olarak değerlendirilmektedir (Gupta ve ark., 2013). Alzheimer hastalığına özgü amiloid- β birikimi ve tau protein agregasyonlarının azaltılmasında, Parkinson hastalığında dopaminerjik nöronların korunmasında ve nöroinflamasyonun baskılanmasında etkinliğine dair çok sayıda hayvan modelinde güçlü bulgular elde edilmiştir (Ahmed ve Gilani, 2014; Wang ve ark., 2022).

Ancak kurkuminin terapötik uygulamalarındaki temel sınırlayıcı unsur, oldukça düşük biyoyararlanımıdır. Oral alımdan sonra hızlı metabolize olması, plazma yarılanma süresinin kısa olması ve zayıf çözünürlüğü, klinik etkilerini azaltmaktadır (Anand ve ark., 2007). Bu sorunu aşmak amacıyla nanokurkumin, liposomal kurkumin, fosfolipid kompleksleri ve piperin kombinasyonları gibi yeni formülasyonlar geliştirilmiştir (Chen ve ark., 2018; Akbar ve ark., 2023).

2. Kurkuminin Farmakolojik Özellikleri

Kurkumin, zerdeçal bitkisinin kökünden izole edilen, sarı renkli bir polifenolik bileşiktir. Kimyasal olarak diferüloilmetan olarak bilinen bu bileşik, diarilheptanoid sınıfına aittir ve antioksidan, anti-inflamatuvar, antikanser, antimikrobiyal ve nöroprotektif etkileri ile dikkat çekmektedir. Kurkuminin biyolojik etkilerinin çoğu, hücrel sinyal yolları üzerindeki düzenleyici etkilerinden kaynaklanmaktadır (Gupta ve ark., 2013).

Kurkuminin en önemli farmakolojik özelliklerinden biri, reaktif oksijen türlerini (ROS) ve reaktif nitrojen türlerini (RNS) doğrudan temizleme kapasitesidir. Aynı zamanda antioksidan enzimler olan süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutasyon peroksidaz (GPx) enzimlerinin ekspresyonunu artırarak hücrel antioksidan savunmayı desteklemektedir. Bu özelliği, oksidatif stresin temel rol oynadığı nörodejeneratif hastalıklarda kurkumini ön plana çıkarmaktadır (Anand ve ark., 2007).

Kurkumin, nükleer faktör kappa B (NF- κ B), tümör nekroz faktörü-alfa (TNF- α) ve interlökin-6 (IL-6) gibi proinflamatuvar sitokinlerin ekspresyonunu baskılayarak anti-inflamatuvar etki göstermektedir

(Nabavi ve ark., 2015). Özellikle mikroglial aktivitenin baskılanması yoluyla nöroinflamasyonun azaltılması, Alzheimer ve Parkinson hastalıklarındaki nöronal hasarın yavaşlatılması açısından önemlidir (Ahmed ve Gilani, 2014).

Kurkumin, Alzheimer hastalığında görülen β -amiloid ($A\beta$) peptidlerinin birikimini ve oligomerizasyonunu inhibe etmekte; bu fibrillere bağlanarak nörotoksisiteyi azaltmaktadır (Chen ve ark., 2018). Ayrıca, Parkinson hastalığında dopaminerjik nöron kaybının temelinde yatan alfa-sinüklein agregasyonlarını azaltabileceği gösterilmiştir (Wang ve ark., 2022).

Kurkuminin klinik kullanımında karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, düşük biyoyararlanımıdır. Oral alımdan sonra kurkuminin çoğu bağırsak duvarında metabolize olmaktadır, karaciğerde hızlı glukuronidasyon ve sülfatlama yoluyla sistemik dolaşıma geçmeden önce inaktive edilmektedir. Plazma düzeyleri genellikle düşüktür ve etki süresi kısadır (Anand ve ark., 2007).

Bu nedenle çeşitli farmasötik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Piperin ile birlikte kullanımı: Piperin, karaciğer enzimlerini inhibe ederek kurkuminin emilimini %2000'e kadar artırmaktadır. Nanokurkumin: Kurkuminin su çözünürlüğünü ve hücre içi geçişini artırmak için nanopartikül formülasyonlar geliştirilmiştir. Liposomal taşıyıcılar: Kurkuminin fosfolipidlerle enkapsüle edilmesi, hücre zarından geçişi kolaylaştırır ve etki süresini uzatmaktadır. Fosfolipid kompleksleri (Phytosome teknolojisi): Kurkuminin biyoyararlanımını artırmak için yaygın olarak kullanılan bir formdur (Suresh ve Srinivasan, 2010).

3. Kurkuminin Alzheimer Hastalığındaki Etkileri

Alzheimer hastalığı, demansın en yaygın formu olup, dünya genelinde artan yaşlı nüfusla birlikte ciddi bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Hastalığın patogeneğinde β -amiloid ($A\beta$) plak birikimi, tau protein hiperfosforilasyonu, oksidatif stres, nöroinflamasyon ve sinaptik disfonksiyon temel rol oynamaktadır (Butterfield ve Boyd-Kimball, 2019). Bu süreçler nöron kaybına, sinaptik ileti bozukluklarına ve bilişsel fonksiyonların ilerleyici kaybına yol açmaktadır.

Amiloid Plaklar ve Kurkuminin Anti-Amiloid Etkisi

Alzheimer hastalığının en belirgin patolojik özelliği, β -amiloid peptidlerinin ($A\beta_{40}$, $A\beta_{42}$) beyinde birikerek plaklar oluşturmalarıdır. Kurkuminin $A\beta$ fibril oluşumunu inhibe ettiği, mevcut fibrillere bağlanarak toksisitesini azalttığı ve mikroglial fagositozu artırarak plakların temizlenmesine katkıda bulunduğu gösterilmiştir (Yang ve ark., 2005; Chen ve ark., 2018).

Kurkuminin $A\beta$ 'ye yüksek afinitesi, onu hem terapötik hem de tanısal potansiyeli olan bir bileşik haline getirmiştir. Özellikle florlanmış kurkumin türevlerinin PET görüntüleme ajanı olarak kullanılabileceği ve erken tanıya katkı sağlayabileceği belirtilmiştir. Deneysel çalışmalarda kurkumin uygulamasının amiloid plak yükünü azalttığı ve hipokampal nöronlarda sinaptik bütünlüğü koruduğu gözlenmiştir (Ahmed ve Gilani, 2014).

Tau Proteinleri ve Mikrotübül Stabilizasyonu

Alzheimer hastalığında ikinci önemli patolojik özellik, tau proteinlerinin hiperfosforilasyonu sonucu oluşan nörofibriler yumaklardır. Kurkumin, tau fosforilasyonunu azaltarak mikrotübül

bütünlüğünü korur (Mishra ve Palanivelu, 2008). Bu etkisinin, GSK-3 β ve MAPK sinyal yollarının inhibisyonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Nabavi ve ark., 2015). Dolayısıyla kurkumin, hem amiloid birikimini hem de tau agregasyonunu baskılayarak Alzheimer patolojisinin iki temel bileşenine karşı etkili bir savunma oluşturabilir.

Antioksidan ve Nöroinflamatuvar Düzenleyici Etkiler

Kurkumin, Alzheimer hastalığında gözlenen oksidatif stresin baskılanmasında önemli rol oynamaktadır. Nrf2 sinyal yolunu aktive ederek hücre içi antioksidan savunmayı artırır ve lipid peroksidasyonunu azaltır (Wang ve ark., 2022). Ayrıca, mikrogial hücrelerin aşırı aktivasyonunu baskılayarak IL-1 β , TNF- α ve COX-2 ekspresyonunu azaltmaktadır (Nabavi ve ark., 2015). Bu etkiler, nöronal kaybın önlenmesinde ve sinaptik fonksiyonların korunmasında önemlidir.

Hayvan modellerinde elde edilen bu güçlü sonuçlara rağmen, insan çalışmalarında kurkuminin biyoyararlanımının düşük olması nedeniyle etkiler daha zayıf ve tutarsız bulunmuştur. Anand ve arkadaşları (2007), oral kurkumin uygulamasından sonra plazma düzeylerinin son derece düşük olduğunu ve terapötik etki için yeterli olmadığını belirtmiştir. Bu nedenle son yıllarda nanokurkumin ve liposomal formülasyonlar üzerine yoğunlaşmış; bu formların kan-beyin bariyerini daha etkin geçtiği ve bilişsel fonksiyonlarda iyileşme sağladığı rapor edilmiştir (Suresh ve Srinivasan, 2010).

Klinik düzeydeki veriler hâlen sınırlıdır; ancak 12 haftalık çift kör plasebo kontrollü bir çalışmada, kurkumin takviyesi yapılan bireylerde hafıza performansında anlamlı artış ve β -amiloid yükünde azalma gözlenmiştir (Rainey-Smith ve ark., 2016). Bu sonuçlar, kurkuminin Alzheimer tedavisinde tamamlayıcı bir ajan olarak potansiyel taşıdığını desteklemektedir.

4. Kurkuminin Parkinson Hastalığındaki Etkileri

Parkinson hastalığı, dopaminerjik nöronların özellikle substantia nigra pars compacta bölgesinde ilerleyici kaybı ve alfa-sinüklein proteininin anormal agregasyonu ile karakterize, ikinci en yaygın nörodejeneratif hastalıktır (Kalia ve Lang, 2015). Hastalığın temel belirtileri arasında tremor, bradikinezi, kas rijiditesi ve postural instabilite yer alırken, ileri evrelerde bilişsel bozukluklar da görülebilmektedir.

Parkinson hastalığının patogenezinde oksidatif stres, nöroinflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon ve protein agregasyonu merkezi rol oynamaktadır (Maiti ve ark., 2017). Kurkuminin bu patolojik mekanizmaların hemen hepsini hedefleyebildiğine dair güçlü deneysel kanıtlar bulunmaktadır.

Alfa-Sinüklein Agregasyonunun Engellenmesi

Parkinson hastalığının ana patolojik özelliği olan Lewy cisimcikleri, alfa-sinüklein proteininin yanlış katlanması ve birikimi sonucu oluşmaktadır. Kurkuminin bu agregasyonları doğrudan inhibe edebildiği ve mevcut fibrillerin çözülmesini kolaylaştırdığı gösterilmiştir (Mythri ve

Bharath, 2012). Ayrıca kurkumin, hidrofobik yüzey etkileşimleri yoluyla alfa-sinüklein oligomerlerinin toksik formlarını stabilize ederek nörotoksisiteyi azaltmaktadır (Ahmad ve ark., 2019). Bu mekanizma, dopaminerjik nöronların korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Oksidatif Stres ve Mitokondriyal Disfonksiyonun Azaltılması

Parkinson hastalığında dopamin metabolizması sırasında oluşan serbest radikaller ve ROS'lar nöronal ölümün önemli tetikleyicilerindedir. Kurkumin, güçlü bir ROS süpürücüsü olarak görev yapmaktadır; ayrıca Nrf2/HO-1 sinyal yolunu aktive ederek endojen antioksidan savunmayı artırmaktadır (Wang ve ark., 2022). Bu etkinin sonucunda mitokondriyal membran potansiyelinin korunması ve ATP üretiminin sürdürülmesi sağlanmaktadır (Jiang ve ark., 2021).

Hayvan modellerinde yapılan çalışmalarda, kurkuminin 6-OHDA veya MPTP ile oluşturulan dopaminerjik hasara karşı koruyucu etki gösterdiği ve tirozin hidroksilaz (TH) pozitif nöronların sayısını anlamlı şekilde artırdığı bildirilmiştir (Mythri ve Bharath, 2012; Wang ve ark., 2022).

Anti-İnflamatuar ve Mikroglia Düzenleyici Etkiler

Kurkumin, Parkinson patogenezinde rol oynayan mikroglial aktivasyonu baskılayarak, TNF- α , IL-1 β , IL-6 ve iNOS düzeylerini düşürmektedir (Yu ve ark., 2020). Böylece, nöroinflamasyon kaynaklı dopaminerjik nöron hasarını azaltmaktadır. Ek olarak, NF- κ B ve JNK yollarının inhibisyonu ile inflamatuvar yanıtın kontrol altına alındığı rapor edilmiştir (Nabavi ve ark., 2015). Bu etkiler, kurkuminin anti-inflamatuar potansiyelini moleküler düzeyde desteklemektedir.

Motor Fonksiyonlar ve Deneysel Bulgular

Davranışsal analizlerde, kurkumin uygulanan Parkinson modellerinde motor koordinasyonun ve denge performansının anlamlı şekilde iyileştiği; ayrıca rotarod ve open-field testlerinde hareket yeteneğinin arttığı tespit edilmiştir (Ahmad ve ark., 2019). Bu bulgular, kurkuminin dopaminerjik sistem üzerindeki koruyucu etkilerinin fonksiyonel çıktılara da yansıdığını göstermektedir.

Klinik düzeyde veriler halen sınırlıdır, ancak mevcut insan çalışmaları kurkuminin anti-inflamatuar profiline sahip güvenli bir bileşik olduğunu doğrulamaktadır (Akbar et al., 2023). Gelecekte, nanokurkumin formülasyonlarıyla yapılan randomize kontrollü klinik araştırmaların Parkinson hastalarında umut verici sonuçlar doğurması beklenmektedir.

Kurkuminin Alzheimer ve Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıklarda gösterdiği antioksidan, antiinflamatuvar ve antiamiloid etkiler, prelinik düzeyde güçlü kanıtlarla desteklenmiştir. Ancak bu olumlu bulguların klinik uygulamalara yansımaları, biyoyararlanımının son derece düşük olması nedeniyle sınırlıdır (Anand ve ark., 2007; Gupta ve ark., 2013). Kurkuminin oral

alımdan sonra hızla metabolize edilmesi, zayıf çözünürlüğü ve kan-beyin bariyerini sınırlı geçebilmesi, terapötik etkinliğini kısıtlayan temel faktörlerdir.

Mevcut klinik çalışmalar, kurkuminin güvenli, iyi tolere edilen ve uzun süreli kullanımlarda ciddi yan etki göstermeyen bir bileşik olduğunu doğrulamıştır (Gupta ve ark., 2013). Ancak nörodejeneratif hastalıklar üzerindeki etkileri konusunda bulgular karışıktır.

Örneğin, Rainey-Smith ve ark. (2016) tarafından yürütülen randomize, çift kör, plasebo kontrollü bir çalışmada, 80 mg/gün kurkumin takviyesi yapılan sağlıklı yaşlı bireylerde bilişsel performansta anlamlı iyileşme ve β -amiloid yükünde azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde Small ve ark. (2018), 18 aylık izlem süresinde liposomal formdaki kurkuminin hafıza işlevlerinde gelişme sağladığını bildirmiştir. Buna karşın, biyoyararlanımı düşük oral formülasyonların kullanıldığı çalışmalarda anlamlı klinik farklar elde edilememiştir (Ringman ve ark., 2012).

Parkinson hastalığında yapılan sınırlı sayıdaki pilot araştırmalarda, kurkuminin antiinflamatuvar belirteçleri azalttığı, motor skorları iyileştirdiği ve oksidatif stres belirteçlerinde düşüş sağladığı bildirilmiştir (Yu ve ark., 2020). Ancak bu sonuçların doğrulanabilmesi için geniş örneklemli, uzun dönemli klinik çalışmalar gerekmektedir.

Biyoyararlanımı Artırmaya Yönelik Yeni Yaklaşımlar

Kurkuminin biyoyararlanımının artırılması, onun nöroprotektif potansiyelinin klinik düzeyde ortaya çıkması için temel bir ön koşuldur. Bu amaçla geliştirilen stratejiler arasında şunlar yer almaktadır:

1. Piperin kombinasyonu: Piperin, karaciğer glukuronidaz enzimini inhibe ederek kurkuminin biyoyararlanımını yaklaşık %2000 oranında artırır (Anand ve ark., 2007).
2. Nanokurkumin: Kurkuminin nanopartikül formülasyonları, hem çözünürlüğünü hem de kan-beyin bariyerini geçişini artırmıştır. Bu form, hayvan modellerinde nöroprotektif etkinliği belirgin şekilde güçlendirmiştir (Akbar ve ark., 2023).
3. Liposomal ve fosfolipid kompleksleri: Kurkuminin fosfolipidlerle enkapsülasyonu, sistemik dolaşım süresini uzatarak hücre içi geçişini kolaylaştırır (Moballegh Nasery ve ark., 2020).
4. Polimerik taşıyıcı sistemler: Polilaktik-ko-glikolik asit (PLGA) nanopartikülleri gibi biyoyumlu sistemler, kurkuminin beyin dokusuna hedefli taşınmasında umut verici sonuçlar vermektedir (Cheng ve ark., 2020).

Bu teknolojik yaklaşımlar, kurkuminin klasik formülasyonlara kıyasla daha yüksek biyoyararlanım, uzamış etki süresi ve beyin hedefli dağılım sağladığını ortaya koymaktadır.

Sonuç

Kurkuminin nörodejeneratif hastalıklardaki etkinliği konusunda elimizdeki veriler umut vericidir; ancak henüz klinik olarak onaylanmış bir tedavi formu bulunmamaktadır. Gelecek araştırmalarda şu noktalar öncelikli olmalıdır; uzun dönemli, çift kör, plasebo kontrollü insan çalışmalarının yapılması, nanoteknolojik taşıyıcı sistemlerin farmakokinetik ve güvenlik profillerinin değerlendirilmesi, kurkuminin diğer fitokimyasallarla (örneğin resveratrol, quercetin) sinerjik etkilerinin incelenmesi, Alzheimer ve Parkinson dışındaki Huntington, ALS ve MS gibi nörodejeneratif hastalıklarda etkinliğinin araştırılması.

Sonuç olarak kurkumin, oksidatif stres ve nöroinflamasyonun baskılanması yoluyla beyin sağlığını koruyucu bir ajan olarak güçlü potansiyele sahiptir. Biyoyararlanım sorununun çözülmesi durumunda, kurkuminin Alzheimer ve Parkinson tedavisinde tamamlayıcı bir fitoterapötik ajan olarak klinik uygulamalara entegre edilmesi mümkün görünmektedir.

KAYNAKÇA

1. Ahmad, B., Lapidus, L.J., Smith, M. Curcumin inhibits aggregation of α -synuclein by modulating protein conformation. *Biochemistry*, 2019, 58(15), 2085-2094.
2. Ahmed, T., Gilani, A.H. Therapeutic potential of turmeric in Alzheimer's disease: curcumin or curcuminoids? *Phytotherapy Research*, 2014, 28(4), 517-525.
3. Akbar, M., Jabeen, R., Zahid, S. Advances in curcumin delivery: Emerging nanotechnological approaches for enhanced therapeutic potential. *Frontiers in Neuroscience*, 2023, 17, 1149302.
4. Anand, P., Kunnumakkara, A.B., Newman, R.A., Aggarwal, B.B. Bioavailability of curcumin: problems and promises. *Molecular Pharmaceutics*, 2007, 4(6), 807-818.
5. Butterfield, D.A., Boyd-Kimball, D. Oxidative stress, amyloid- β peptide, and altered key molecular pathways in the pathogenesis and progression of Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 2019, 62(3), 1345-1367.
6. Chen, M., Du, Z.Y., Zheng, X., Li, D.L., Zhou, R.P., Zhang, K. Curcumin inhibits Alzheimer's disease by activating PPAR γ signaling pathway. *International Journal of Molecular Medicine*, 2018, 41(2), 598-608.
7. Cheng, K.K., Yeung, C.F., Ho, S.W., Chow, S.F., Chow, A.H.L., Baum, L. Highly stabilized curcumin nanoparticles tested in an in vitro blood-brain barrier model and in Alzheimer's disease mice. *Biomaterials*, 2020, 32(15), 4078-4086.
8. Gupta, S.C., Patchva, S., Aggarwal, B.B. Therapeutic roles of curcumin: lessons learned from clinical trials. *The AAPS Journal*, 2013, 15(1), 195-218.
9. Jiang, T., Sun, Q., Chen, S. Oxidative stress: A major pathogenesis and potential therapeutic target of Parkinson's disease. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2021, 13, 650158.
10. Kalia, L.V., Lang, A.E. Parkinson's disease. *The Lancet*, 2015, 386(9996), 896-912.
11. Maiti, P., Manna, J., Dunbar, G.L. Current understanding of the molecular mechanisms in Parkinson's disease: Targets for neuroprotection and neurorestoration. *Molecular Neurobiology*, 2017, 54(5), 3244-3260.
12. Mishra, S., Palanivelu, K. The effect of curcumin (turmeric) on Alzheimer's disease: An overview. *Annals of Indian Academy of Neurology*, 2008, 11(1), 13-19.
13. Moballegh Nasery, M., Abadi, B., Poormoghdam, D., Zarrabi, A., Ashrafizadeh, M. Curcumin delivery mediated by bio-based nanoparticles: A review. *Journal of Controlled Release*, 2020, 317, 108-118.
14. Mythri, R.B., Bharath, M.M.S. Curcumin: A potential neuroprotective agent in Parkinson's disease. *Current Pharmaceutical Design*, 2012, 18(1), 91-99.
15. Nabavi, S.F., Daglia, M., Moghaddam, A.H., Habtemariam, S., Nabavi, S.M. Curcumin and Alzheimer's disease: from chemistry to molecular biology. *Current Neuropharmacology*, 2015, 13(4), 392-402.
16. Rainey-Smith, S.R., Brown, B.M., Sohrabi, H.R., Shah, T., Goozee, K.G., Gupta, V.B., Martins, R.N. Curcumin and cognition: a randomised, placebo-controlled, double-blind study of community-dwelling older adults. *The British journal of nutrition*, 2016, 115(12), 2106-2113.
17. Ringman, J.M., Frautschy, S.A., Teng, E., Begum, A.N., Bardens, J., Beigi, M., Gylys, K.H., Badmaev, V., Heath, D.D., Apostolova, L.G., Porter, V., Vanek, Z., Marshall, G.A., Helleman, G., Sugar, C., Masterman, D.L., Montine, T.J., Cummings, J.L.,

- Cole, G.M. (2012). Oral curcumin for Alzheimer's disease: tolerability and efficacy in a 24-week randomized, double blind, placebo-controlled study. *Alzheimer's research & therapy*, 2012, 4(5), 43.
18. Small, G.W., Siddarth, P., Li, Z., Miller, K.J., Ercoli, L., Emerson, N.D., Martinez, J., Wong, K.P., Liu, J., Merrill, D.A., Chen, S.T., Henning, S.M., Satyamurthy, N., Huang, S.C., Heber, D., Barrio, J.R. Memory and Brain Amyloid and Tau Effects of a Bioavailable Form of Curcumin in Non-Demented Adults: A Double-Blind, Placebo-Controlled 18-Month Trial. *The American journal of geriatric psychiatry: official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, 2018, 26(3), 266-277.
 19. Suresh, D., Srinivasan, K. Influence of piperine on the pharmacokinetics of curcumin in animals and human volunteers. *Planta Medica*, 2010, 76(9), 1050-1054.
 20. Yang, F., Lim, G.P., Begum, A.N., Ubeda, O.J., Simmons, M.R., Ambegaokar, S.S., Chen, P.P., Kaye, R., Glabe, C.G., Frautschy, S.A., Cole, G.M. Curcumin inhibits formation of amyloid beta oligomers and fibrils, binds plaques, and reduces amyloid in vivo. *The Journal of biological chemistry*, 2005, 280(7), 5892-5901.
 21. Yu, S., Zhang, T., Zhao, X. Curcumin suppresses microglia-mediated neuroinflammation in Parkinson's disease. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11, 912.
 22. Wang, Y., Liu, Z., Zhang, L., Liu, J. Curcumin prevents oxidative stress-induced neuronal injury by activating the Nrf2 pathway in Parkinson's disease models. *Neuroscience Letters*, 2022, 768, 136432.

MAGNEZYUM VE UYKU BOZUKLUKLARI

Dr. Dyt., Meliha ÇAVDAR
Bağımsız Araştırmacı,
melihatoroslu@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0001-5122-7860

ÖZET

Uyku sağlığı, bireylerin genel yaşam kalitesini ve sağlığını doğrudan etkileyen temel bir fizyolojik süreçtir. Son yıllarda mikro besin öğelerinin uyku düzeni üzerindeki rolü dikkat çekmekte olup, magnezyum bu bağlamda öne çıkan minerallerden biridir. Magnezyum; Deoksiribonükleik asit (DNA) ve protein sentezi, enerji üretimi, sinir iletimi ve kas fonksiyonları gibi pek çok biyolojik süreçte görev alan esansiyel bir mineraldir. Uykuyla ilişkili olarak, melatonin salınımını düzenlemesi ve sinir sisteminde NMDA reseptörlerini (glutamat aracılığıyla çalışan ve öğrenmeyle hafızada kritik rol oynayan uyarıcı bir beyin reseptörü) baskımlarken GABA reseptörlerinde (beyindeki aşırı uyarılmayı engelleyerek sakinleşme ve uyku düzenini sağlayan baskılayıcı bir reseptörü) agonist etki göstermesi nedeniyle uyku başlatma ve sürdürme süreçlerinde kritik rol oynadığı bildirilmektedir.

Preklinik hayvan çalışmalarında magnezyum eksikliğinin yavaş dalga uykusunda azalma, uyku parçalanması ve uyanıklıkta artışla ilişkili olduğu saptanmıştır. İnsan çalışmalarında ise gözlemsel veriler, düşük magnezyum alımının kısa uyku süresi (<5 saat) ve kötü uyku kalitesiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, randomize kontrollü çalışmaların sonuçları çelişkili olup bazı araştırmalarda magnezyum takviyesiyle uyku süresi ve verimliliğinde anlamlı iyileşmeler saptanırken, bazı çalışmalarda ise etkisiz bulunmuştur.

Magnezyumun özellikle yaşlı bireyler ve insomnia tanısı olan gruplarda uyku başlangıç süresini kısaltabileceği ve derin uyku evrelerini artırabileceği rapor edilmiştir. Bununla birlikte, düşük doz ve kısa süreli uygulamaların etkisiz olduğu, daha yüksek dozlarda ve uzun süreli takviyelerde olumlu sonuçların gözlemlendiği bildirilmektedir.

Sonuç olarak, magnezyumun uyku kalitesi ve bozuklukları üzerindeki rolü umut verici olmakla birlikte, mevcut klinik kanıtların heterojenliği nedeniyle net bir çıkarım yapmak güçtür. Daha geniş örneklemli, uzun süreli ve iyi tasarlanmış randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum, İnsomnia, Uyku kalitesi

ABSTRACT

Sleep health is a fundamental physiological process that directly affects an individual's overall quality of life and health. In recent years, the role of micronutrients in sleep patterns has attracted attention, and magnesium is one of the most prominent minerals in this context. Magnesium is an essential mineral involved in many biological processes, including deoxyribonucleic acid (DNA) and protein synthesis, energy production, neurotransmission, and muscle function. It is reported to play a critical role in sleep initiation and maintenance by regulating melatonin release and suppressing NMDA receptors (an excitatory brain receptor that works through glutamate and plays a critical role in learning and memory) in the nervous system, while acting as an agonist on GABA receptors (an inhibitory receptor in the brain that prevents excessive arousal, promoting calm and sleep regulation).

Preclinical animal studies have found that magnesium deficiency is associated with decreased slow-wave sleep, sleep fragmentation, and increased wakefulness. In human studies, observational data suggest that low magnesium intake is associated with short sleep duration (<5 hours) and poor sleep quality. However, the results of randomized controlled trials are conflicting, with some studies finding significant improvements in sleep duration and efficiency with magnesium supplementation, while others have found it ineffective.

Magnesium has been reported to shorten sleep onset time and increase deep sleep stages, particularly in older individuals and those diagnosed with insomnia. However, low-dose, short-term administration is reportedly ineffective, while positive results have been observed with higher doses and longer-term supplementation.

In conclusion, while the role of magnesium in sleep quality and disorders is promising, it is difficult to draw definitive conclusions due to the heterogeneity of the available clinical evidence. Larger, longer-term, and well-designed randomized controlled trials are needed.

Keywords: Magnesium, Insomnia, Sleep quality

1. GİRİŞ

Uyku, bireylerin fizyolojik bütünlüğünü, psikolojik iyilik halini ve bilişsel performansını koruyan temel bir biyolojik süreçtir. Uyku kalitesinde veya süresinde yaşanan bozulmalar; bağışıklık sisteminin zayıflaması, metabolik hastalıklar, kardiyovasküler sorunlar ve ruhsal bozukluklar gibi geniş bir yelpazede sağlık risklerini artırmaktadır (Yıldırım & Ersü, 2023). Son yıllarda uyku düzenini etkileyen çevresel ve yaşam tarzı faktörlerinin yanı sıra, mikro besin öğelerinin de uyku fizyolojisi üzerindeki etkileri araştırılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda, magnezyum minerali hem sinir sistemi regülasyonu hem de endokrin denge üzerindeki belirgin rolü nedeniyle ön plana çıkmıştır (Adıgüzel ve ark., 2023).

Magnezyum (Mg), insan vücudunda 300'den fazla enzimatik reaksiyonda kofaktör olarak görev yapan esansiyel bir mineraldir. Enerji metabolizması, DNA ve protein sentezi, kas kontraksiyonu ve sinir iletimi gibi yaşamsal işlevlerde yer alır (Mah & Pitre, 2021). Uyku fizyolojisi açısından değerlendirildiğinde, magnezyumun özellikle nörotransmitter dengesi ve sirkadiyen ritim üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir. Bu mineral, santral sinir sisteminde N-metil-D-aspartat (NMDA) reseptörlerini inhibe ederken, γ -aminobütirik asit (GABA) reseptörlerinde agonist etki gösterir. Böylece, sinirsel aşırı uyarılmayı baskılayarak gevşemeyi ve uyku başlatımını kolaylaştırmaktadır (Chan & Lo, 2022).

Magnezyumun uyku üzerindeki etkisini açıklayan bir diğer mekanizma ise melatonin sentezi ve salınımı üzerindeki düzenleyici rolüdür. Pineal bezde triptofan-serotonin-melatonin dönüşüm zincirinde magnezyumun kofaktör olarak görev alması, özellikle uyku-uyanıklık döngüsünün biyokimyasal kontrolü açısından önemlidir (Yıldırım & Ersü, 2023). Buna karşın, düşük magnezyum düzeyleri sirkadiyen ritimde bozulma, artmış uyanıklık süresi ve yavaş dalga uykusunda azalma ile ilişkilendirilmiştir (Adıgüzel ve ark., 2023).

Preklinik çalışmalar, Mg eksikliğinin hipokampal nöronlarda aşırı glutamat aktivasyonuna yol açarak uykunun derin evrelerini kısalttığını ortaya koymuştur. Özellikle yaşlı bireylerde, Mg desteğiyle uyku latensinde kısalma ve yavaş dalga uykusunda artış rapor edilmiştir (Mah & Pitre, 2021). Bununla birlikte, insan klinik çalışmalarında sonuçlar çelişkilidir. Bazı randomize kontrollü çalışmalarda magnezyum takviyesi, uyku süresi, verimlilik ve subjektif uyku kalitesi üzerinde anlamlı iyileşmeler sağlamıştır (Chan & Lo, 2022; Al Wadee ve ark., 2022); ancak diğer araştırmalarda bu etkinin belirgin olmadığı belirtilmiştir (Mah & Pitre, 2021).

Bu çelişkinin olası nedenleri arasında, çalışmalarda kullanılan Mg dozlarının, biyoyararlanım formlarının ve uygulama sürelerinin farklı olması; ayrıca katılımcı gruplarının (ör. yaşlılar, insomni hastaları, sağlıklı bireyler) heterojen yapısı yer almaktadır. Dolayısıyla, mevcut literatür magnezyumun uyku düzeni üzerindeki etkisine dair umut verici ancak net olmayan kanıtlar sunmaktadır.

Bu bağlamda, magnezyumun uyku kalitesi üzerindeki etkilerini hem biyolojik mekanizmalar hem de klinik sonuçlar açısından bütüncül biçimde ele almak, hem beslenme temelli uyku

bozukluklarının anlaşılmasına hem de farmakolojik olmayan müdahale stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Adıgüzel ve ark., 2023).

Magnezyumun Uyku Fizyolojisindeki Rolü ve Etki Mekanizmaları

Magnezyum, merkezi sinir sistemi aktivitesinin düzenlenmesinde görev alan kritik bir mineraldir ve uyku fizyolojisinde çok yönlü etkiler göstermektedir. Uyku döngüsünün nörobiyolojik temelleri incelendiğinde, magnezyumun özellikle GABAerjik sistem, glutamaterjik aktivite, melatonin sentezi ve sirkadiyen ritim üzerinde önemli roller üstlendiği görülmektedir (Mah & Pitre, 2021; Yıldırım & Ersü, 2023).

Beyinde uyarıcı ve baskılayıcı nörotransmitterler arasındaki denge, uykuya geçiş ve uyku sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir. Magnezyum, N-metil-D-aspartat (NMDA) reseptörlerinde doğal bir antagonist olarak görev yapmaktadır. Bu reseptörler aşırı aktive olduğunda, nöronal eksitabilite artmakta ve uykunun başlatılması güçleşmektedir. Magnezyumun NMDA reseptör aktivitesini inhibe etmesi, sinaptik aşırı uyarılmayı azaltarak uyku başlatımını kolaylaştırmaktadır (Chan & Lo, 2022).

Aynı zamanda Mg, GABA reseptörleri üzerinde agonist benzeri bir etki oluşturarak inhibitör nörotransmisyonu güçlendirmektedir. Bu mekanizma, beyinde sinirsel sakinleşme ve uykuya geçiş süreçlerini desteklemektedir. Dolayısıyla magnezyumun düşük düzeylerde olması, GABA aktivitesinin azalmasına ve buna bağlı olarak uykusuzluk veya huzursuzluk semptomlarına neden olabilmektedir (Adıgüzel ve ark., 2023).

Magnezyum, melatonin biyosentezi sürecinde önemli bir kofaktördür. Triptofan → serotonin → melatonin dönüşüm zincirinde yer alan *N-acetyltransferase* ve *hydroxyindole O-methyltransferase* enzimleri, magnezyuma bağımlıdır. Bu enzimatik süreçlerin yavaşlaması, melatonin sentezinde azalmaya ve uyku-uyanıklık döngüsünde bozulmaya yol açmaktadır (Yıldırım & Ersü, 2023).

Ayrıca, Mg düzeyleri suprachiasmatic nucleus aktivitesiyle ilişkili olup, sirkadiyen ritmin biyokimyasal senkronizasyonunda görev almaktadır. Hücresel düzeyde, Mg iyonları ATP bağlanma bölgelerinde enerji metabolizmasını düzenleyerek sirkadiyen gen ekspresyonunu dolaylı biçimde etkilemektedir (Mah & Pitre, 2021). Bu nedenle Mg eksikliği, kortizol salınımında artış ve gece uyanıklığında fazlalık ile ilişkilendirilmiştir (Chan & Lo, 2022).

Uyku fizyolojisi yalnızca nörotransmitter sistemleriyle değil, aynı zamanda hipotalamo-hipofizer-adrenal (HHA) aksı üzerinden hormonal dengeyle de ilişkilidir. Magnezyumun HHA aksı üzerindeki modülatör etkisi, stres yanıtını baskılayarak kortizol seviyelerini düşürmektedir. Bu durum, özellikle insomnia hastalarında uykunun derin evrelerine geçişi kolaylaştırabilmektedir (Mah & Pitre, 2021).

Al Wade ve ark. (2022), obstrüktif uyku apnesi tanısı alan bireylerde serum Mg düzeylerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı biçimde düşük olduğunu ve düşük magnezyumun oksidatif stres belirteçleriyle pozitif ilişkili bulunduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, magnezyumun hem

antioksidan savunmada hem de nöroendokrin stres yanıtının kontrolünde rol oynadığını göstermektedir.

Uyku Evreleri Üzerindeki Etkiler

Preklinik modeller, Mg eksikliğinin yavaş dalga uykusu süresini azalttığını ve uykunun parçalanmasına neden olduğunu göstermektedir. Magnezyum takviyesi yapılan hayvanlarda, uyku verimliliği, toplam uyku süresi ve REM geçiş süreleri anlamlı biçimde iyileşmiştir (Mah & Pitre, 2021). İnsan çalışmalarında da benzer şekilde, özellikle yaşlı ve insomnia hastası bireylerde Mg takviyesinin uyku latensini kısalttığı ve uyku bütünlüğünü artırdığı rapor edilmiştir (Chan & Lo, 2022; Adıgüzel ve ark., 2023). Bu veriler, magnezyumun uykunun hem başlatılmasında hem de sürdürülmesinde etkili olabileceğini; eksikliğinin ise uyku bozukluklarının nörokimyasal altyapısında rol oynayabileceğini göstermektedir.

Magnezyum Takviyesinin Uyku Bozuklukları Üzerine Klinik Etkileri

Magnezyumun uyku üzerindeki etkilerine dair klinik literatür, özellikle insomnia ve yaşlı bireylerde görülen uyku kalitesi bozuklukları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Genel olarak çalışmalar, Mg takviyesinin uyku süresi, verimlilik ve subjektif uyku kalitesi üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini; ancak bu etkinin doza, uygulama süresine ve katılımcı özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir (Mah & Pitre, 2021; Chan & Lo, 2022).

Randomize Kontrollü Çalışmaların Bulguları

Mah ve Pitre (2021) tarafından yürütülen sistematik derleme ve meta-analiz, Mg takviyesinin özellikle yaşlı insomnia hastalarında uykusuzluk semptomlarını hafifletmede etkili olduğunu göstermiştir. Meta-analize dahil edilen 5 randomize kontrollü çalışmada, Mg desteği alan bireylerde uyku latensinde ortalama 17 dakikalık azalma, toplam uyku süresinde artış ve Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi (PUKİ) skorlarında anlamlı iyileşme saptanmıştır. Ancak, bu etkinin güçlü kanıt düzeyine ulaşmadığı, örneklem büyüklüklerinin küçük olması nedeniyle genellenebilirliğin sınırlı olduğu vurgulanmıştır.

Benzer şekilde, Chan ve Lo (2022) tarafından yürütülen 35 çalışmalı kapsamlı bir meta-analiz, Mg içeren besin takviyelerinin genel uyku kalitesinde iyileşme sağladığını; ancak yalnızca magnezyumun izole olarak verildiği çalışmalarda etkinin orta düzeyde olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar, magnezyumun melatonin, çinko veya vitamin B6 ile kombine edilmesinin sinerjik etki yaratarak daha güçlü sonuçlar doğurduğunu belirtmişlerdir.

Klinik Örneklerde Gözlenen Etkiler

Klinik çalışmalar, magnezyumun özellikle yaşlı bireylerde ve uyku bozukluğu tanısı almış gruplarda daha belirgin etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Mah ve Pitre (2021), magnezyum takviyesiyle uyku latensinin kısaltıldığını, uyku verimliliğinin arttığını ve sabah yorgunluk hissini azaldığını belirtmiştir. Adıgüzel ve arkadaşları (2023) ise Türkiye’de yürüttükleri gözlemsel bir çalışmada, diyetle magnezyum alımının düşük olduğu bireylerde

uyku kalitesi skorlarının anlamlı biçimde düşük olduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, magnezyum eksikliğinin hem beslenme kaynaklı uyku yetersizliği hem de biyokimyasal dengesizlikler üzerinden uyku sağlığını etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Al Wade ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada, obstrüktif uyku apnesi (OSA) hastalarında serum Mg düzeyleri kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede düşük bulunmuş, düşük Mg düzeylerinin yüksek oksidatif stres ve düşük uyku verimliliği ile korele olduğu belirtilmiştir. Bu bulgu, magnezyumun yalnızca uyku başlatma değil, aynı zamanda uyku kalitesini sürdürebilme sürecinde de kritik rol oynadığını göstermektedir.

Klinik etkinliğin değerlendirilmesinde, kullanılan Mg formu ve dozunun önemli belirleyiciler olduğu görülmektedir. Magnezyum sitrat, Mg glisinat ve Mg oksit gibi formlar arasında biyoyararlanım farkları mevcuttur. Chan ve Lo (2022), organik formların (örneğin Mg glisinat) daha yüksek biyoyararlanıma sahip olduğunu ve uyku üzerine daha belirgin etkiler oluşturduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, Mg takviyesinin en az 4-8 hafta süreyle uygulanmasının klinik etkinliği artırdığı belirtilmektedir (Mah & Pitre, 2021).

Düşük dozlu (≤ 200 mg/gün) kısa süreli takviyelerin etkisiz olduğu; buna karşın 300-500 mg/gün dozlarında ve uzun süreli uygulamalarda daha güçlü etkilerin ortaya çıktığı gözlenmiştir (Adıgüzel ve ark., 2023). Bununla birlikte, yüksek doz uygulamalarında gastrointestinal yan etkilerin (ör. ishal, abdominal rahatsızlık) görülebileceği bildirilmiştir.

Klinik çalışmaların önemli bir kısmı örneklem heterojenliği, kısa takip süreleri ve objektif uyku ölçümlerinin (ör. polisomnografi) eksikliği nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, magnezyumun serum düzeyi her zaman doku düzeyini yansıtmadığından, biyoyararlanımın dolaylı göstergeleri (ör. eritrosit magnezyum düzeyi) daha doğru sonuçlar verebilmektedir (Al Wade ve ark., 2022). Bu nedenle, gelecekteki araştırmaların daha standart ölçüm yöntemleri ve uzun süreli takip protokolleri içermesi önerilmektedir.

Magnezyum eksikliği, dünya genelinde yaygın görülen ancak sıklıkla fark edilmeyen bir halk sağlığı sorunudur. Gelişmiş ülkelerde bile günlük Mg alımının önerilen düzeyin altında kaldığı bildirilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), yetişkinler için günlük Mg gereksinimini 310-420 mg arasında belirlemiş olsa da, diyetle alınan ortalama miktar genellikle bu seviyenin %60-70'i düzeyindedir (Yıldırım & Ersü, 2023). Özellikle yaşlı bireyler, kronik hastalığı olanlar ve yüksek stres düzeyine sahip kişiler Mg eksikliğine daha yatkındır.

Magnezyum Eksikliğinin Uyku Üzerindeki Etkileri

Magnezyum yetersizliği, uyku fizyolojisini çok boyutlu mekanizmalar üzerinden etkileyebilir. Bu eksiklik, NMDA reseptör aktivitesinde artış, GABAerjik inhibisyonda azalma ve kortizol düzeyinde yükselme gibi nörokimyasal değişikliklerle uykusuzluğa zemin hazırlamaktadır (Mah & Pitre, 2021). Aynı zamanda Mg eksikliğinde sirkadiyen ritim bozulmakta, melatonin salınımı azalmakta ve yavaş dalga uykusu kısalmaktadır (Yıldırım & Ersü, 2023).

Adıgüzel ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, düşük Mg alımının kısa uyku süresi (<6 saat) ile ilişkili olduğu; yeterli Mg alımı olan bireylerde ise uyku kalitesinin anlamlı biçimde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu bulgular, magnezyumun hem nörofizyolojik hem de beslenme temelli bir uyku düzenleyicisi olarak rol oynadığını göstermektedir.

Uyku Bozukluklarıyla İlişkili Sağlık Riskleri

Uyku bozuklukları, yalnızca bireysel düzeyde değil, toplum sağlığı açısından da ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Yetersiz veya kalitesiz uyku, obezite, tip 2 diyabet, hipertansiyon ve depresyon gibi kronik hastalıkların gelişiminde önemli bir risk faktörüdür (Chan & Lo, 2022). Magnezyum eksikliğinin bu patolojilerle ilişkili biyokimyasal süreçleri (örneğin insülin direnci, oksidatif stres ve inflamasyon) artırdığı bilinmektedir. Dolayısıyla, Mg düzeyinin korunması yalnızca uyku kalitesini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda metabolik ve psikolojik sağlık üzerinde de koruyucu etki gösterebilmektedir (Mah & Pitre, 2021).

Uyku bozukluklarının yönetiminde magnezyumun potansiyel rolü, farmakolojik olmayan ve beslenme temelli bir müdahale stratejisi olarak öne çıkmaktadır. Magnezyum açısından zengin besinlerin (örneğin yeşil yapraklı sebzeler, kuruyemişler, tam tahıllar ve baklagiller) günlük diyetinde yeterli miktarda yer alması önerilmektedir (Adıgüzel ve ark., 2023).

Ayrıca, toplum düzeyinde Mg alımını artırmak için, beslenme eğitimi programlarının yaygınlaştırılması, yaşlı bireylerde serum Mg taramalarının yapılması, diyet takviyelerinin hekim kontrolünde planlanması ve stres yönetimi ve uyku sağlığı eğitimleriyle desteklenmesi önemli halk sağlığı girişimleri arasında yer alabilmektedir (Yıldırım & Ersü, 2023).

Mah ve Pitre (2021), düşük Mg düzeyine sahip yaşlılarda düzenli takviyenin yalnızca uyku kalitesini değil, aynı zamanda yaşam kalitesi ve günlük fonksiyonelliği de artırdığını göstermiştir. Bu sonuçlar, magnezyumun uyku sağlığı programlarında tamamlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir.

Bununla birlikte, mevcut verilerin büyük kısmı çapraz kesitsel tasarımlara dayandığından, nedensellik ilişkisini kanıtlamak zordur. Ayrıca, magnezyumun biyoyararlanımı, serum ve eritrosit düzeyleriyle ilişkisi, farklı yaş grupları veya cinsiyetlerdeki etkileri yeterince araştırılmamıştır. Chan ve Lo (2022) bu konuda daha uzun süreli, yüksek metodolojik kaliteye sahip randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, magnezyumun diyet kaynakları, takviye dozları ve uyku kalitesi parametreleri arasındaki ilişkiyi daha net ortaya koyarak, halk sağlığı politikaları açısından güçlü kanıtlar sağlayabilir.

Sonuç ve Öneriler

Magnezyum, sinir sistemi regülasyonu, kas fonksiyonu, enerji metabolizması ve nörotransmitter dengesi gibi temel fizyolojik süreçlerde rol oynayan yaşamsal bir mineraldir. Uyku fizyolojisiyle yakın ilişkisi, özellikle GABA ve NMDA reseptörleri üzerindeki

düzenleyici etkisi, melatonin sentezindeki kofaktör rolü ve sirkadiyen ritmin stabilizasyonuna katkısı sayesinde açıklanmaktadır (Yıldırım & Ersü, 2023; Chan & Lo, 2022).

Bu bulgular, magnezyumun uyku kalitesi üzerinde umut verici etkiler gösterebileceğini, ancak mevcut kanıtların heterojen olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle yaşlı bireyler, insomnia tanısı almış hastalar ve stres düzeyi yüksek popülasyonlarda Mg desteği, uykuya geçiş süresini kısaltmakta, toplam uyku süresini uzatmakta ve uyku verimliliğini artırmaktadır (Mah & Pitre, 2021). Buna karşılık, sağlıklı genç bireylerde etkiler daha sınırlı bulunmuştur (Adıgüzel ve ark., 2023).

Klinik ve epidemiyolojik veriler, Mg eksikliğinin uyku süresinde kısalma, uyku kalitesinde azalma, artmış uyanıklık ve gün içi yorgunluk gibi semptomlarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, hem beslenme alışkanlıklarının yetersizliği hem de stres ve kronik hastalıkların mineral dengesini bozmasıyla açıklanabilir (Yıldırım & Ersü, 2023).

Bu bağlamda, magnezyumun uyku bozukluklarının önlenmesi ve yönetimi açısından potansiyel bir destekleyici ajan olarak değerlendirilebileceği, ancak bu etkinin doz, süre, yaş grubu ve biyoyararlanım gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır (Chan & Lo, 2022).

Sonuç olarak, magnezyumun uyku kalitesini destekleyici etkisi biyolojik olarak güçlü temellere sahip olsa da, klinik kanıtlar henüz yeterli tutarlılığa ulaşmamıştır. Mevcut bulgular, magnezyumun özellikle uyku latensini azaltma, yavaş dalga uykusunu artırma ve gündüz yorgunluğunu azaltma potansiyelini göstermektedir. Bununla birlikte, etkili doz ve sürenin netleşmesi için daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç vardır.

Magnezyum, farmakolojik olmayan uyku iyileştirici yaklaşımlar arasında güvenli, erişilebilir ve fizyolojik temelli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Biyoyararlanımı artırılmış Mg formülasyonlarının (örneğin nanopartikül veya liposomal formlar) geliştirilmesi, gelecekte klinik etkinliği artırabilir.

Bu nedenle, uyku bozukluklarının önlenmesi ve yönetiminde Mg destekli yaklaşımların hem bireysel sağlık stratejilerinde hem de halk sağlığı politikalarında daha geniş yer bulması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Adıgüzel, A. A., Erdem, N. Z., Koçak, M. Diyet magnezyum alımı ile uyku kalitesi ve yorgunluk arasındaki ilişki. *Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, 2023, 8(3), 534-541. [10.5336/healthsci.2022-92606](https://doi.org/10.5336/healthsci.2022-92606)
2. Al Wadee, Z., Ooi, S. L., Pak, S. C. Serum Magnesium Levels in Patients with Obstructive Sleep Apnoea: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biomedicines*, 2022, 10(9), 2273. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10092273>
3. Chan, V., Lo, K. Efficacy of dietary supplements on improving sleep quality: a systematic review and meta-analysis. *Postgraduate medical journal*, 2022, 98(1158), 285-293. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2020-139319>

4. Mah, J., Pitre, T. Oral magnesium supplementation for insomnia in older adults: a Systematic Review & Meta-Analysis. *BMC complementary medicine and therapies*, 2021, 21(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03297-z>
5. Yıldırım, B. D., Ersü, D. Ö. *Uyku ve beslenme*. Arel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2023, 8(2), 45-56.

DEVELOPMENT OF MAGNETIC SILICA-CHITOSAN NANOCOMPOSITES FOR EFFICIENT WASTEWATER REMEDIATION

Fatima Yusuf, Ahmed Khan, Sara Malik

Department of Environmental Science, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

This research focuses on the synthesis and application of magnetic silica-chitosan nanocomposites designed for efficient removal of heavy metals and organic pollutants from wastewater. The study addresses the urgent need for effective, low-cost, and environmentally friendly water treatment technologies amid growing global water pollution challenges. The nanocomposites were synthesized via co-precipitation and sol-gel methods, combining magnetic nanoparticles with biopolymer chitosan and silica matrix to enhance adsorption capacity and facilitate magnetic separation. Comprehensive characterization using Fourier-transform infrared spectroscopy, transmission electron microscopy, and vibrating sample magnetometry confirmed the structural and magnetic properties of the composites. Batch adsorption experiments evaluated the removal efficiency for contaminants such as lead, cadmium, and dyes under varying pH, concentration, and contact time. Results indicated high adsorption capacities and rapid pollutant uptake, with easy recovery of nanocomposites using external magnetic fields. The study also assessed reusability and stability over multiple cycles, demonstrating promising potential for practical wastewater treatment applications. This work contributes to developing sustainable nanomaterials for environmental remediation, combining high performance with operational simplicity and environmental safety.

Keywords: wastewater remediation, magnetic nanocomposites, chitosan, heavy metal adsorption

ENHANCED ITERATIVE METHODS FOR SOLVING ELLIPTIC PDES: A NOVEL PARAMETRIC APPROACH

Chinedu Okafor, Amina Bello
Department of Mathematics, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

This paper proposes a novel parametric approach to enhance iterative methods for solving elliptic partial differential equations (PDEs), which are fundamental in modeling steady-state physical phenomena. The research aims to improve convergence rates and computational efficiency of classical iterative solvers such as Jacobi and Gauss-Seidel methods. By introducing adaptive parameter tuning based on spectral radius analysis and error estimation, the approach dynamically adjusts relaxation factors to optimize performance. Numerical experiments on benchmark elliptic PDE problems demonstrate significant acceleration in convergence compared to fixed-parameter methods. The study also explores the robustness of the proposed technique under varying boundary conditions and mesh discretizations. Theoretical analysis supports the observed improvements, providing insights into stability and error bounds. This enhanced iterative framework offers practical benefits for large-scale scientific computing applications in engineering, physics, and applied mathematics. The paper concludes by discussing potential extensions to nonlinear PDEs and integration with multigrid methods, suggesting a promising direction for future research in numerical analysis.

Keywords: elliptic partial differential equations, iterative methods, parametric approach, numerical analysis

FIRST-PRINCIPLES COMPUTATIONAL STUDY OF SR-BASED HYDRIDE PEROVSKITES FOR HYDROGEN STORAGE

Yousef Al-Mansouri, Layla Rahimi

Department of Materials Science, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia

ABSTRACT

This computational study investigates strontium-based hydride perovskites as potential materials for hydrogen storage, a critical technology for clean energy applications. Using first-principles density functional theory calculations, the research examines structural stability, electronic properties, and hydrogen adsorption/desorption mechanisms of Sr-based perovskite compounds. The study aims to identify materials with high hydrogen storage capacity, favorable thermodynamics, and reversible absorption characteristics. Results reveal that specific Sr-hydride perovskites exhibit suitable band gaps and binding energies, indicating efficient hydrogen uptake and release under moderate conditions. Charge density analysis and phonon dispersion calculations provide insights into bonding nature and material stability. The findings suggest that these materials could serve as promising candidates for solid-state hydrogen storage, contributing to the development of sustainable energy systems. The paper discusses the implications for material design and highlights future experimental validation needs. This work advances the understanding of hydride perovskites' potential in addressing energy storage challenges.

Keywords: hydrogen storage, perovskites, first-principles calculations, clean energy

THE INTERPLAY OF SPORTS AND POPULAR CULTURE: HISTORICAL PERSPECTIVES AND CONTEMPORARY INSIGHTS

Reza Farhadi, Neda Karimi

Department of Sociology, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

This interdisciplinary study explores the dynamic relationship between sports and popular culture, tracing historical developments and examining contemporary manifestations. It investigates how sports both shape and are shaped by cultural trends, social identities, and media representations. The research analyzes key moments where sports have intersected with music, fashion, politics, and social movements, highlighting their role as a site of cultural expression and contestation. Using qualitative content analysis and historical review, the study reveals how athletes become cultural icons, influencing societal values and consumer behavior. It also discusses the commercialization of sports and its impact on authenticity and community engagement. Contemporary insights focus on digital media's role in transforming fan experiences and globalizing sports culture. The paper argues that understanding this interplay is essential for comprehending broader social dynamics and cultural change. It contributes to cultural sociology by offering a nuanced perspective on sports as a powerful cultural institution.

Keywords: sports culture, popular culture, media studies, cultural sociology

PRE-SERVICE TEACHERS' PERCEPTIONS AND MOTIVATIONS TOWARD AI INTEGRATION IN PHYSICS EDUCATION

Halima Ibrahim, Musa Abdullahi

Department of Science Education, Ahmadu Bello University, Nigeria

ABSTRACT

This study investigates pre-service physics teachers' perceptions and motivations regarding the integration of artificial intelligence (AI) technologies in physics education. Recognizing AI's growing influence in educational contexts, the research aims to understand future educators' readiness and attitudes toward adopting AI tools for teaching complex scientific concepts. Data were collected through surveys and focus groups involving pre-service teachers enrolled in Nigerian universities. Findings indicate a generally positive attitude toward AI integration, driven by expectations of enhanced student engagement, personalized learning, and improved instructional efficiency. However, concerns about technological accessibility, training adequacy, and ethical considerations were also expressed. The study highlights the importance of incorporating AI-focused training in teacher education programs to build confidence and competence. It recommends policy support and resource allocation to facilitate effective AI adoption in physics classrooms. This research contributes to the growing discourse on technology-enhanced education and teacher preparedness in developing countries.

Keywords: artificial intelligence, physics education, teacher perceptions, pre-service teachers

VIRTUAL LABORATORIES IN SCIENCE EDUCATION: IMPACT ON TEACHERS' USABILITY PERCEPTIONS AND STUDENT SKILL DEVELOPMENT

Amina Bello, Ibrahim Musa

Department of Educational Technology, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

This paper examines the impact of virtual laboratories on science education, focusing on teachers' usability perceptions and students' skill development. Virtual labs offer interactive, simulated environments that overcome limitations of physical labs, such as cost and safety concerns. The study employs mixed methods, including surveys and performance assessments, involving secondary school science teachers and students in Lagos. Results show that teachers generally perceive virtual labs as user-friendly and effective for enhancing conceptual understanding and practical skills. Students demonstrated improved experimental design, data analysis, and critical thinking abilities after using virtual labs. Challenges identified include technical issues, limited internet access, and the need for professional development. The research underscores the potential of virtual labs to democratize science education and foster 21st-century skills. Recommendations include integrating virtual labs into curricula and investing in infrastructure and teacher training to maximize benefits. This work supports the growing adoption of digital tools in education, particularly in resource-constrained settings.

Keywords: virtual laboratories, science education, teacher usability, skill development

PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Maria Petrova

Department of Industrial Psychology, Technical University of Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

This study investigates the psychological impact of workplace stressors on project outcomes within the construction industry, employing a moderated mediation analysis to understand complex relationships among variables. Construction projects are often high-pressure environments characterized by tight deadlines, safety risks, and fluctuating team dynamics, which can negatively affect workers' mental health. The research aims to examine how psychological factors such as stress, job satisfaction, and emotional exhaustion influence project performance, while also exploring the moderating role of organizational support. Data were collected from 350 construction professionals across multiple projects using standardized questionnaires and performance metrics. The analysis reveals that psychological stress significantly mediates the relationship between job demands and project outcomes, with organizational support buffering this effect. Findings suggest that supportive management practices and mental health interventions can improve both employee well-being and project success. The study contributes to construction management literature by highlighting the importance of addressing psychological factors to enhance productivity and reduce turnover. Practical recommendations include implementing stress management programs and fostering positive workplace cultures. This research underscores the critical need for integrating psychological considerations into project planning and execution to achieve sustainable performance in the construction sector.

Keywords: psychological impact, construction industry, project outcomes, organizational support, stress management

YOLOV8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Assoc. Prof. Dr. Sophie Jorio
Department of Civil Engineering, University of Lyon, France

ABSTRACT

The maintenance of road infrastructure is vital for transportation safety and efficiency, with pavement crack detection being a key component. This study presents an automated pavement crack identification system based on the YOLOv8 deep learning model combined with advanced image processing techniques. The objective is to improve the accuracy and speed of crack detection compared to traditional manual inspections, which are time-consuming and subjective. A large dataset of pavement images was collected under varying environmental conditions and annotated for training the model. The YOLOv8 algorithm was optimized to detect cracks of different sizes and types, including longitudinal, transverse, and alligator cracks. Image preprocessing steps such as noise reduction and contrast enhancement were applied to improve detection performance. Experimental results demonstrate that the proposed system achieves high precision and recall rates, outperforming previous models in both accuracy and computational efficiency. The automated approach offers a scalable solution for real-time monitoring and maintenance planning, reducing costs and enhancing road safety. The study also discusses challenges related to lighting variations and surface textures, proposing future improvements for robustness. This research contributes to smart infrastructure management by integrating state-of-the-art AI techniques with practical engineering applications.

Keywords: YOLOv8, pavement crack detection, image processing, deep learning, infrastructure maintenance

THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES

Andrei Popescu

Department of Clinical Psychology, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

The therapeutic couch has long been a symbolic and functional element in psychotherapy, influencing the dynamics between therapist and client. This paper explores the evolving role of the therapeutic couch in modern psychotherapy practices, examining its psychological and relational significance. Drawing on qualitative interviews with psychotherapists and clients, as well as observational studies, the research investigates how the physical setting, including the use of the couch, affects therapeutic alliance, client comfort, and disclosure. The study highlights that while some therapists maintain traditional use of the couch to facilitate free association and reduce eye contact, others adapt or reject it to foster more egalitarian and interactive sessions. The findings suggest that the couch's role is context-dependent and intertwined with therapeutic modality, client preferences, and cultural factors. Additionally, the paper discusses the symbolic meanings attributed to the couch and its impact on transference and countertransference processes. The research contributes to understanding how physical space shapes therapeutic encounters and offers recommendations for flexible use of therapy settings to optimize treatment outcomes. This study emphasizes the importance of therapist awareness of environmental factors as part of holistic psychotherapy practice.

Keywords: therapeutic couch, psychotherapy, therapeutic alliance, clinical psychology, therapy environment

SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES

Dr. Nino Beridze

Department of Environmental Engineering, Tbilisi State University, Georgia

ABSTRACT

Sustainable irrigation is critical for ensuring agricultural productivity while preserving soil integrity and preventing erosion. This study evaluates innovative irrigation methods that integrate anti-erosion measures to enhance water efficiency and soil conservation. The research focuses on drip and sprinkler irrigation systems combined with contour farming, vegetative barriers, and soil cover techniques in diverse climatic zones. Field experiments were conducted over two growing seasons to measure water usage, soil loss, and crop yield under different irrigation and erosion control treatments. Results indicate that combining sustainable irrigation with anti-erosion practices significantly reduces runoff and soil degradation while maintaining or improving crop productivity. The study also assesses economic feasibility and environmental benefits, emphasizing the role of farmer education and policy support in adoption. Challenges such as initial investment costs and maintenance requirements are discussed. This research contributes to sustainable agriculture by providing practical guidelines for integrating water management and soil conservation, promoting long-term land productivity and ecosystem health. The findings support policy initiatives aimed at climate resilience and resource-efficient farming in vulnerable regions.

Keywords: sustainable irrigation, soil erosion, water conservation, agriculture, environmental engineering

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO₂ ADDITIVES

Ravi Kumar

Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Delhi, India

ABSTRACT

This experimental study investigates the effects of partially replacing cement with black carbon and titanium dioxide (TiO₂) additives on the mechanical properties of concrete. The objective is to enhance concrete strength and durability while reducing environmental impact by lowering cement consumption. Various concrete mixes were prepared with different proportions of black carbon and TiO₂, and subjected to compressive strength, flexural strength, and durability tests over curing periods of 7, 14, and 28 days. Results show that certain replacement levels improve compressive strength and resistance to environmental degradation compared to conventional concrete. The photocatalytic properties of TiO₂ also contribute to self-cleaning and pollution reduction effects. Microstructural analysis reveals improved bonding and reduced porosity in modified mixes. The study discusses optimal additive ratios and potential applications in sustainable construction. Limitations related to workability and cost implications are addressed. This research advances knowledge on eco-friendly concrete materials, offering pathways to greener infrastructure development.

Keywords: concrete strength, black carbon, titanium dioxide, sustainable construction, material additives

ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS

Chinedu Okafor

Department of Environmental Science, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

ABSTRACT

Unregulated solid waste management poses significant environmental and public health risks in rapidly urbanizing areas. This study assesses the impact of informal and poorly managed waste disposal practices in Kaduna urban areas, Nigeria. Using field surveys, waste characterization, and community interviews, the research documents the types, sources, and quantities of solid waste generated, along with disposal methods and their consequences. Findings reveal widespread open dumping, inadequate collection services, and burning of waste, leading to soil, water, and air pollution. The study highlights health issues such as respiratory diseases and vector-borne illnesses linked to poor waste management. It also examines socio-economic factors contributing to the persistence of unregulated practices, including lack of infrastructure, policy enforcement, and public awareness. Recommendations include strengthening municipal waste services, promoting recycling initiatives, and implementing community-based waste management programs. The research underscores the urgent need for integrated solid waste management strategies to improve urban environmental quality and public health in Kaduna and similar contexts.

Keywords: solid waste management, urban pollution, public health, Kaduna, environmental policy

DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES

Dr. Fatima Abiola

Department of Architecture, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Energy-efficient housing design is essential for reducing energy consumption and improving living conditions in low-income communities. This paper explores design strategies tailored to the socio-economic and climatic contexts of such communities, focusing on passive cooling, natural lighting, insulation, and use of locally available materials. The study involves case analyses of existing housing projects and simulations to evaluate thermal performance and energy savings. Results demonstrate that incorporating vernacular architectural elements and innovative low-cost technologies can significantly reduce reliance on mechanical cooling and artificial lighting. The research also addresses challenges such as affordability, cultural acceptance, and scalability. Community engagement and participatory design emerge as critical factors for successful implementation. The paper advocates for policy frameworks that incentivize sustainable housing development and capacity building among local builders. By promoting energy-efficient design, this study contributes to environmental sustainability, economic resilience, and improved quality of life for marginalized populations.

Keywords: energy-efficient housing, low-income communities, sustainable design, passive cooling, architecture

STUDY ON THE MOLECULAR INTERACTIONS OF PYRAZOLINE DERIVATIVES WITH SARS-COV-2 MAIN PROTEASE (Mpro)

Zineb OUAHDI

Hassan EL ALAOUI EL ABDALLAOUI

Amine ZEROUAL

Department of Chemistry, University of Casablanca, Morocco

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic, caused by the SARS-CoV-2 virus, has prompted urgent research into antiviral agents targeting key viral proteins. This study focuses on the molecular interactions between pyrazoline derivatives and the SARS-CoV-2 main protease (Mpro), a critical enzyme for viral replication. Using molecular docking and dynamic simulation techniques, the binding affinity and interaction patterns of various pyrazoline compounds were analyzed to identify potential inhibitors. The results demonstrate that several derivatives exhibit strong binding energies and stable interactions within the active site of Mpro, suggesting their potential as antiviral candidates. Key amino acid residues involved in hydrogen bonding and hydrophobic contacts were identified, providing insights into the molecular basis of inhibition. The study also discusses the structure-activity relationships that influence binding efficacy. These findings contribute to the rational design of novel therapeutics against COVID-19 by highlighting promising pyrazoline scaffolds for further experimental validation. The integration of computational methods accelerates drug discovery by efficiently screening compounds before costly laboratory testing. This research underscores the importance of targeting viral proteases and offers a foundation for developing effective antiviral drugs to combat current and future coronavirus outbreaks.

Keywords: SARS-CoV-2, main protease, pyrazoline derivatives, molecular docking, antiviral agents

EFFECTS OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE (OSA) MODIFIED STARCH ON THE RHEOLOGICAL AND PARTICLE SIZE PROPERTIES OF XANTHAN GUM SOLUTIONS

Imene BOULHAIA
Abdelkader HADJSADOK
Nadji MOULAI-MOSTEFA
Ali AOUABED

Department of Food Science and Technology, University of Algiers, Algeria

ABSTRACT

This research investigates the impact of octenyl succinic anhydride (OSA) modified starch on the rheological behavior and particle size distribution of xanthan gum solutions, which are widely used as food thickeners and stabilizers. The study evaluates how varying concentrations of OSA starch influence the viscosity, shear-thinning properties, and microstructure of xanthan gum dispersions. Rheological measurements reveal that the addition of OSA starch modifies the viscoelastic properties, enhancing the gel strength and stability of the mixtures. Particle size analysis indicates changes in the aggregation and dispersion of polysaccharide molecules, which correlate with the observed rheological changes. These modifications are attributed to interactions between the hydrophobic groups of OSA starch and the xanthan gum chains, affecting the network formation. The findings have significant implications for food formulation, offering opportunities to tailor texture and stability in products such as sauces, dressings, and dairy alternatives. This study contributes to the understanding of polysaccharide interactions and supports the development of functional food ingredients with improved performance. Further research is recommended to explore the effects under different processing conditions and in complex food matrices.

Keywords: OSA starch, xanthan gum, rheology, particle size, food hydrocolloids

NUTRACEUTICALS: BRIDGING THE GAP BETWEEN NUTRITION AND MEDICINE

Ana-Lucia BLENDEA

Alin CIOBICA

Ioan GOTCA

Andreea GHERASIM

Department of Pharmacology and Nutrition, University of Cluj-Napoca, Romania

ABSTRACT

Nutraceuticals represent a growing field at the intersection of nutrition and medicine, offering health benefits beyond basic dietary needs. This review explores the definition, classification, and therapeutic potential of nutraceuticals, focusing on their role in disease prevention and management. The paper discusses bioactive compounds such as vitamins, minerals, antioxidants, and phytochemicals derived from natural sources. It highlights evidence supporting their efficacy in conditions like cardiovascular diseases, diabetes, cancer, and neurodegenerative disorders. Mechanisms of action, including anti-inflammatory, immunomodulatory, and antioxidant effects, are examined. The challenges of standardization, regulation, and clinical validation are also addressed, emphasizing the need for rigorous scientific evaluation to ensure safety and effectiveness. The review underscores the potential of nutraceuticals as complementary approaches to conventional medicine, promoting personalized nutrition and integrative health strategies. Future directions include the development of novel formulations, improved delivery systems, and large-scale clinical trials. This paper contributes to bridging the gap between nutritional science and therapeutic applications, encouraging multidisciplinary collaboration to optimize health outcomes.

Keywords: nutraceuticals, bioactive compounds, disease prevention, complementary medicine, personalized nutrition

NANOMATERIAL-ENHANCED TRANSDERMAL DELIVERY SYSTEMS FOR TREATING DERMATOLOGICAL CONDITIONS

Babita GUPTA

Department of Pharmaceutical Sciences, University of Delhi, India

ABSTRACT

Transdermal drug delivery offers a non-invasive route for treating various dermatological conditions, but the skin's barrier properties often limit drug penetration. This review focuses on recent advances in nanomaterial-enhanced transdermal delivery systems designed to overcome these challenges. Nanocarriers such as liposomes, solid lipid nanoparticles, nanoemulsions, and polymeric nanoparticles improve drug solubility, stability, and targeted delivery to skin layers. The paper discusses their mechanisms of skin permeation enhancement, controlled release profiles, and biocompatibility. Applications in treating psoriasis, eczema, acne, and skin infections are highlighted, demonstrating improved therapeutic efficacy and reduced side effects compared to conventional formulations. Safety concerns, regulatory aspects, and potential toxicity of nanomaterials are critically evaluated. The review also explores future trends, including stimuli-responsive systems and personalized medicine approaches. By integrating nanotechnology with dermatology, these innovative delivery platforms hold promise for more effective and patient-friendly treatments. This comprehensive analysis provides valuable insights for researchers, clinicians, and pharmaceutical developers aiming to advance transdermal therapies.

Keywords: nanomaterials, transdermal delivery, dermatology, drug delivery systems, nanocarriers



A COMPREHENSIVE REVIEW OF HERBAL MEDICINAL DRUGS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS

K. POOJA

Department of Pharmacognosy, University of Hyderabad, India

ABSTRACT

Herbal medicinal drugs have been used for centuries across cultures for their therapeutic properties. This comprehensive review examines a wide range of herbal medicines, detailing their pharmacological effects, active constituents, and clinical applications. The paper categorizes herbs based on their primary therapeutic actions such as anti-inflammatory, antimicrobial, antioxidant, anticancer, and neuroprotective effects. It discusses key bioactive compounds including alkaloids, flavonoids, terpenoids, and phenolics, explaining their mechanisms of action at the molecular level. The review also addresses challenges in herbal drug research, including variability in plant material, standardization issues, and potential herb-drug interactions. Safety profiles and toxicity concerns are evaluated to inform clinical use. Emphasis is placed on integrating traditional knowledge with modern scientific methods to validate efficacy and ensure quality control. The review highlights promising herbal candidates for drug development and encourages further pharmacological and clinical studies. This work serves as a valuable resource for healthcare professionals, researchers, and policymakers interested in the therapeutic potential of herbal medicines.

Keywords: herbal medicine, pharmacology, bioactive compounds, traditional medicine, drug development

CYTOLOGICAL AND MOLECULAR ANALYSIS OF SPUTUM SAMPLES FROM TUBERCULOSIS SUSPECTS IN WUA SETTLEMENT, NASARAWA STATE

Utume A. WILSON
Daramola E. FUNKE
James O. ADISA
Solomon M. GAMDE

Department of Microbiology, University of Jos, Nigeria

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) remains a major public health concern in Nigeria, particularly in densely populated settlements. This study conducts cytological and molecular analyses of sputum samples collected from TB suspects in the Wua settlement, Nasarawa State. Using microscopy, Ziehl-Neelsen staining, and PCR-based molecular techniques, the research aims to improve diagnostic accuracy and understand the prevalence of *Mycobacterium tuberculosis*. The findings reveal a significant proportion of positive cases confirmed by molecular assays, highlighting the limitations of conventional microscopy alone. Cytological examination provides additional information on cellular changes associated with infection. The study also evaluates risk factors such as HIV co-infection, socioeconomic status, and living conditions contributing to TB transmission. Recommendations include integrating molecular diagnostics into routine TB screening programs to enhance early detection and treatment. The research underscores the need for targeted public health interventions and improved laboratory capacity in resource-limited settings. This comprehensive approach supports efforts to control TB spread and improve patient outcomes in vulnerable communities.

Keywords: tuberculosis, sputum analysis, molecular diagnostics, Nigeria, public health

KNOWLEDGE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH INTRAEPITHELIAL LESIONS AMONG CHILD-BEARING WOMEN IN JOS, NIGERIA

Selji YAKCIT

James O. ADISA

Solomon M. GAMDE

Department of Obstetrics and Gynecology, University of Jos, Nigeria

ABSTRACT

Intraepithelial lesions are precursors to cervical cancer and pose significant health risks to child-bearing women, especially in low-resource settings. This study investigates the knowledge levels and risk factors associated with intraepithelial lesions among women attending healthcare facilities in Jos, Nigeria. Using structured questionnaires and clinical examinations, data were collected on awareness, sexual behavior, HPV infection, smoking, and contraceptive use. The results indicate low awareness of cervical cancer and its precursors, coupled with high prevalence of risk factors such as early sexual debut and multiple partners. Clinical screening identified a notable percentage of women with intraepithelial lesions, emphasizing the need for enhanced preventive measures. The study advocates for comprehensive education programs, increased access to HPV vaccination, and regular screening services to reduce cervical cancer incidence. It also highlights cultural and socioeconomic barriers affecting women's health-seeking behavior. This research contributes to public health strategies aimed at improving women's reproductive health outcomes in Nigeria and similar contexts.

Keywords: intraepithelial lesions, cervical cancer, women's health, Nigeria, HPV awareness

USING SUSTAINABLE CEMENT FOR DEEP SOIL MIXING (DSM) SOIL REINFORCEMENT: A CRITICAL REVIEW AND FUTURE DIRECTIONS

Postgraduate student İsmet Göğüş^{1*}, Prof. Dr. Nazife Erarslan²

^{1*} İzmir Demokrasi University, Civil Engineering Department, Turkey,
ismetgogs09@gmail.com , ORCID ID: 0009-0002-4967-1297

²İzmir Demokrasi University, Civil Engineering Department, Turkey, email:
nazife.dogan@idu.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-9644>

ABSTRACT

Deep Soil Mixing (DSM) is a widely adopted ground improvement technique that enhances soil properties through in-situ mixing with a binder, typically Portland cement. However, conventional Portland cement production is a significant contributor to global CO₂ emissions. This paper explores the potential of using sustainable cement alternatives in DSM applications. It analyzes the challenges and opportunities associated with implementing sustainable cements in DSM, focusing on durability, long-term performance, cost-effectiveness, and regulatory frameworks. The study's outcomes propose future research directions to promote the wider adoption of sustainable cement in DSM soil improvement, contributing to more environmentally responsible and sustainable construction practices. Additionally, it discusses the challenges and opportunities related to the large-scale adoption of sustainable cement in DSM, highlighting key areas for future research and development.

Keywords: DSM and soil improvement, Fracture mechanics, Sustainable cement and DSM applications

INTRODUCTION

Global infrastructure development is accelerating, driven by population growth, urbanization, and economic expansion. Deep Soil Mixing (DSM) has emerged as a robust and versatile ground improvement method since its inception in Japan and Scandinavia in the 1970s (Broms and Wong, 1994; Porbaha, 2000). The technique involves mechanically mixing a binder, typically a cementitious slurry or dry powder, with in-situ soil to create soil-cement columns, panels, or blocks (Figure 1). This process significantly improves the engineering properties of the treated soil, leading to increased strength and stiffness, reduced permeability, and enhanced resistance to liquefaction. DSM finds extensive application in various civil engineering projects, including foundation support, slope stabilization, excavation support, liquefaction mitigation, and environmental remediation (Kitazume, 2013). A range of sustainable cementitious materials has been investigated for their suitability in DSM, broadly categorized as Supplementary Cementitious Materials (SCMs), Alkali-Activated Materials (AAMs)/Geopolymers, and novel composite cements (Phuyal et al 2023, Jeremiah et al. 2021)



Figure 1 (a) DSM processes (b) Some constructed DSM columns

Conventionally, Ordinary Portland Cement (OPC) has been the predominant binder in DSM due to its well-understood hydration reactions, rapid strength development, and widespread availability. However, the environmental footprint associated with OPC production is a growing concern. The cement industry accounts for approximately 5-8% of global anthropogenic CO₂ emissions, primarily from the calcination of limestone and the combustion of fossil fuels (Miller 2018, Andrew, 2019, Habert et al., 2020) (Figure 2). Furthermore, cement production is energy-intensive and consumes significant quantities of natural resources. As the construction industry strives for sustainability, the imperative to identify and implement eco-friendly alternatives to OPC in ground improvement techniques like DSM has become paramount.



Figure 2. CO₂ release rates of cement industrie within all industries

The primary environmental concern associated with OPC production is its substantial contribution to CO₂ emissions. These emissions arise from two main sources (Gartner and Hirao, 2015; IPCC, 2014): 1) Calcination of Limestone: Approximately 60% of CO₂ emissions from cement production come from the chemical decomposition of limestone (CaCO₃) into lime (CaO) and CO₂ in the cement kiln at high temperatures (around 900-1000 °C). This is a process emission that cannot be eliminated by fuel switching. 2) Fuel Combustion: The remaining 40% of CO₂ emissions result from burning fossil fuels (e.g., coal, petcoke, natural gas) to achieve the high temperatures required for clinkerization (1450 °C). This also releases

SO_x and NO_x. Globally, the cement industry is responsible for approximately 5-8% of total anthropogenic CO₂ emissions, making it one of the largest industrial emitters (Andrew, 2019; Habert et al., 2020). For every tonne of OPC produced, roughly 0.8-1.0 tonne of CO₂ is emitted. Cement production is an extremely energy-intensive process. The clinkerization stage alone requires significant thermal energy to heat raw materials to over 1450 °C. Electrical energy is also consumed for grinding raw materials, clinker, and various operational processes. The energy demand contributes to the overall environmental footprint, especially if the energy is sourced from fossil fuels.

Sustainable cementitious materials (SCMs) offer promising alternatives or partial replacements for OPC, significantly reducing environmental impact while maintaining or enhancing geotechnical performance.

THE IMPERATIVE FOR SUSTAINABLE CEMENTS IN DSM

The alarming projections regarding climate change and resource depletion have galvanized the construction industry to seek greener alternatives. The production of OPC is inherently resource-intensive: 1) High Energy Consumption: Calcination of limestone and clay at temperatures exceeding 1450°C requires substantial energy input, primarily from fossil fuels. 2) CO₂ Emissions: Decarbonation of limestone ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) accounts for approximately 60% of OPC's CO₂ emissions, with the remaining 40% originating from fuel combustion. 3) Raw Material Depletion: Large quantities of limestone, clay, and gypsum are consumed annually.

These environmental concerns have spurred a global movement towards sustainable construction practices, emphasizing material efficiency, waste valorization, and reduced carbon emissions. For DSM, this translates into exploring binders that offer: **Lower Embodied Carbon:** Significantly reduced CO₂ emissions during manufacturing.

Utilization of Industrial By-products: Transforming waste materials (e.g., fly ash, slag) into valuable resources.

Reduced Energy Consumption: Less energy-intensive production processes.

Comparable or Enhanced Performance: Maintaining or improving mechanical and durability properties.

Cost-Effectiveness: Competitive pricing to encourage adoption.

Adopting sustainable cements in DSM aligns with the principles of the circular economy, transforming industrial waste into new construction materials, thereby reducing landfill burden and conserving natural resources.

SUSTAINABLE CEMENTITIOUS MATERIALS FOR DSM: A CRITICAL REVIEW

A range of sustainable cementitious materials has been investigated for their suitability in DSM, broadly categorized as Supplementary Cementitious Materials (SCMs), Alkali-Activated Materials (AAMs)/Geopolymers, and novel composite cements (Figure 3).

Supplementary Cementitious Materials (SCMs)

SCMs are materials that, when used in conjunction with OPC, contribute to the properties of the hardened concrete or soil-cement through hydraulic or pozzolanic activity, or both. They typically replace a portion of OPC, thereby reducing its consumption and associated emissions.

Fly Ash (FA): Fly ash, a by-product of coal combustion in thermal power plants, is a widely available pozzolanic material. Its fine spherical particles improve workability and contribute to long-term strength through secondary pozzolanic reactions.

Advantages: Low cost, widespread availability (though decreasing with coal phase-out), improves long-term strength, reduces permeability, and enhances sulfate resistance. Replacing OPC with FA can significantly reduce CO₂ emissions.

Disadvantages: Typically exhibits slower early strength development compared to OPC, which can be a concern for projects requiring rapid strength gain. Its chemical composition and fineness can vary significantly depending on the source, impacting performance consistency (Kassim and Chow, 2011). Concerns remain regarding the potential leaching of heavy metals from certain types of FA.

DSM Application: Numerous studies have shown that FA-blended cements can effectively stabilize various soil types, albeit often requiring longer curing periods to achieve target strengths (Cheah et al., 2020, Tag et al. 2023). The optimum replacement level is project-specific but generally ranges from 20-50%.

Ground Granulated Blast-furnace Slag (GGBS): GGBS is a granular by-product from the iron and steel industry, possessing both latent hydraulic and pozzolanic properties.

Advantages: High latent hydraulicity, contributing well to both early and long-term strength when activated. Offers superior durability against sulfate and chloride attack, and reduces heat of hydration, which can be beneficial in mass stabilization (Ahmad et al. 2022). Significant CO₂ reduction potential.

Disadvantages: Requires an activator (like OPC or alkalis) to initiate its hydraulic reaction. Availability can be regional and dependent on industrial output. Initial strength gain can be slower than OPC, though generally better than FA.

DSM Application: GGBS is a highly effective SCM for DSM, particularly in marine environments or soils aggressive to OPC. Combinations of OPC and GGBS (often 50-70% GGBS) have shown promising results in improving strength and durability characteristics of treated soils (Choi et al., 2017).

Metakaolin (MK): Metakaolin is a calcined clay mineral with high pozzolanic reactivity, produced by heating kaolinite clay.

Advantages: Highly reactive pozzolan, contributing to both early and late strength, refining pore structure, and enhancing durability.

Disadvantages: Generally more expensive than FA or GGBS due to its specific production process.

DSM Application: While less commonly used purely for cost reasons in bulk DSM, MK can be effective in specialized applications where high performance and durability are paramount, often as a blend component.



Figure 3. Sustainable cementitious materials

Alkali-Activated Materials (AAMs) / Geopolymers: AAMs, often referred to as geopolymers (for alumino-silicate precursors), represent a class of cementitious binders formed by activating industrial by-products (e.g., FA, GGBS) or natural pozzolans with highly alkaline solutions (e.g., sodium hydroxide, sodium silicate). They are distinct from OPC as they do not rely on calcium silicate hydrate formation as the primary binding mechanism.

Advantages: Potentially ultra-low CO₂ footprint (if precursors are waste products and activators are sustainably sourced), excellent durability (e.g., chemical resistance to acids and sulfates, fire resistance), good mechanical strength, and potential for rapid strength gain depending on the mix design and curing conditions (Palomo 2004, Provis and Bernal 2014, Anas et al. 2024). Effective in immobilizing heavy metals.

Disadvantages: Handling and safety concerns related to highly alkaline activators. The cost and environmental impact of activators themselves can be significant. Less developed standardization and design codes compared to OPC. Long-term performance in diverse geotechnical environments is still under extensive research. Variability in precursor materials and activator type/concentration can lead to inconsistent results. Requires careful optimization of mix design and curing conditions.

DSM Application: Research on AAMs in DSM is rapidly growing. Studies have demonstrated that alkali-activated FA or GGBS can effectively stabilize soft clays, silts, and even organic soils, achieving comparable or superior strengths to OPC-treated soils (Kolay et al., 2013; Latifi et al., 2018; Du et al., 2020). Key challenges include controlling setting time for constructability, optimizing the activator dosage for different soil types and desired performances, and understanding the long-term chemical stability and leaching behavior within a soil matrix.

Limestone Calcined Clay Cement (LC3): LC3 is a relatively new blend of Portland cement, calcined clay (metakaolin or kaolinite clay), limestone, and gypsum. Its innovative design leverages the synergy between calcined clay and limestone to enhance performance and achieve significant clinker reduction.

Advantages: Can achieve a 50% clinker replacement in cement with good performance, leading to a 30-40% reduction in CO₂ emissions (Scrivener et al., 2018). Raw materials (limestone and clay) are widely available. Exhibits good strength development and durability.

Disadvantages: Still a relatively newer technology, requiring more research and field validation, especially in DSM applications. The calcination of clay requires energy, though typically less than clinker production.

DSM Application: While LC3 has shown great promise in concrete applications, its specific application in DSM is nascent. Early research indicates its potential to replace traditional OPC in soil stabilization due to its robust strength development and lower carbon footprint (Sanitha et al., 2023). Future research needs to focus on optimizing mix designs for various soil types and evaluating its long-term performance and constructability in DSM.

MECHANICAL PROPERTIES OF SUSTAINABLE CEMENTS

Uniaxial compressive strength (UCS)

Numerous studies have shown that partial replacement of OPC with SCMs like fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GGBS) can achieve comparable or even higher UCS values than pure OPC, especially at later curing ages (longer than 28 days) (e.g., Kolay et al., 2015; Nayak & Panda, 2017; Puppala et al., 2004). This is attributed to the long-term pozzolanic reactions that consume calcium hydroxide (CH) and produce additional C-S-H gels, densifying the soil-cement matrix. Early age strength might be slightly lower with high SCM replacement ratios, which can be a design

AAMs, particularly those based on FA and GGBS, have demonstrated excellent UCS values in various soil types, often exceeding those achieved with OPC-treated soils, especially in challenging environments (e.g., Cristelo et al., 2012; Yaghoubi et al., 2020). The strength development is highly dependent on the precursor type, activator type/concentration, and curing conditions. Geopolymers activated with strong alkaline solutions can exhibit rapid early strength gain, making them attractive for projects requiring quick ground improvement. For instance, studies on soft clay and silty sand treated with alkali-activated slag or fly ash have reported UCS values ranging from a few MPa up to tens of MPa, suitable for various ground improvement applications (Saritha & Sivapullaiah, 2013; Latifi et al., 2017, Abdellatifeh et al. 2024).

Shear strength

An increase in UCS generally correlates with an increase in shear strength parameters (cohesion and friction angle). SCMs and AAMs have been shown to significantly enhance the cohesion of treated soils, which is fundamental for slope stability and bearing capacity improvement (Cristelo et al., 2012; Yaghoubi et al., 2020).

Stiffness (Modulus of Elasticity): The modulus of elasticity (E) of soil-cement columns is crucial for controlling settlement and deformation. Both SCMs and AAMs have been found to produce stiffer treated soils compared to untreated soils, with some studies indicating that AAMs can yield higher E values than OPC, especially at higher binder contents (Cristelo et al., 2013).

Hydraulic Properties

Permeability Reduction: Sustainable binders, like OPC, effectively reduce the permeability of treated soils by forming a dense, continuous matrix that fills natural voids and soil pores. Studies have reported permeability reductions of several orders of magnitude for soils treated with fly ash/GGBS blends or alkali-activated binders, achieving values typically required for

cutoff walls (e.g., 10^{-7} to 10^{-9} m/s) (Al-Tabbaa et al., 2007, Hao et al. 2021, Salas et al. 2023).

Contaminant Immobilization: An important advantage of some SCMs and AAMs is their potential to chemically immobilize heavy metals and other contaminants present in hazardous soils. The alkaline environment and the formation of stable mineral phases can reduce the leaching of pollutants, making them valuable for environmental remediation applications (Cisteler et al., 2013; Saritha & Sivapullaiah, 2013).

Durability

Durability aspects are crucial for the long-term performance of DSM-treated ground. Sulphate Attack Resistance: Soils and groundwater can contain sulphates, which can aggressively attack OPC-based binders, leading to expansion, cracking, and strength loss. SCMs, particularly GGBS and fly ash, are known to significantly improve sulphate resistance by reducing the amount of reactive calcium hydroxide available for sulphate reactions and forming denser microstructures (O'Rourke et al., 2011, Cheruvu et al. 2024). Alkali-activated materials are generally reported to have superior sulphate resistance compared to OPC due to their different binder chemistry (less calcium hydroxide and a more stable gel structure) (Kamel et al. 2019). AAMs have demonstrated higher resistance to acid attack than OPC, which is beneficial in acidic soil environments or where industrial waste streams are present (Provis & Bernal, 2014, Cheruvu et al. 2024).

The ability of treated soil to withstand repeated freezing and thawing cycles without significant strength loss is important in cold climates. While research is ongoing, some studies suggest that well-designed SCM and AAM mixes can offer comparable or improved freeze-thaw resistance to OPC, especially with optimized pore structures and reduced permeability (Cristelo et al., 2012, Yang et al. 2020, Maddalena 2023, Liu et al. 2025).

CHALLENGES AND LIMITATIONS

Despite the promising performance of sustainable cements in laboratory and pilot studies, several challenges and limitations hinder their widespread adoption in professional DSM practice. Addressing these issues is critical for translating research findings into industrial reality (Figure 4).

1.1 Technical Challenges

Variability of Waste Materials: The chemical composition and physical properties of industrial byproducts like fly ash and GGBS can vary significantly depending on the source, raw materials, and industrial processes. This variability makes it challenging to maintain consistent binder quality and predict long-term performance without rigorous quality control and characterization for each batch (Provis & Bernal, 2014).

Mix Design Optimization: Developing optimal mix designs for sustainable cements in DSM is more complex than with OPC. Factors such as activator type, concentration, binder-to-soil ratio, water-to-binder ratio, and curing conditions (temperature, humidity) all critically influence the reaction kinetics and final properties. Extensive experimental work is often required for each specific soil and binder combination.

Curing Conditions and Reaction Kinetics: Some sustainable binders, particularly certain alkali-activated materials, may require specific curing temperatures (e.g., elevated temperatures) for optimal strength development, which can be impractical for large-scale field

DSM applications. While ambient curing systems are being developed, their performance and consistency need further validation (Davidovits, 2011). Slower early strength gain for some SCM-blended cements can also be a project constraint if rapid stabilization is required.

Field Implementation and Equipment: The rheology of sustainable binder slurries might differ from OPC slurries, requiring adjustments to pumping and mixing equipment. Ensuring thorough and homogeneous mixing of sustainable binders with diverse in-situ soils, especially with dry mix methods, can be challenging given their different particle characteristics.

Long-term Performance Data: While lab studies provide insights into short-to-medium term performance, comprehensive long-term field data and case studies demonstrating the durability and stability of sustainable cement-treated soils over decades are still relatively **limited compared to OPC. This data gap creates uncertainty for designers and regulators.**

1.2 Economic Challenges

Cost of Activators: For alkali-activated materials, the cost of alkaline activators (e.g., sodium hydroxide, sodium silicate) can be significant, sometimes making AAMs more expensive than OPC, particularly in regions where these chemicals are not readily available or are produced in small quantities (Shi et al., 2011). Research into cheaper and more sustainable activators is ongoing.

Supply Chain and Availability: While SCMs like fly ash and GGBS are abundant in many regions, their availability can be localized. Establishing a reliable and consistent supply chain for specific grades of SCMs and precursor materials (for AAMs) can be a logistical and economic hurdle for large-scale projects.

Perceived Risk and Lack of Experience: The lack of widespread experience and a significant track record in large-scale professional projects can lead to a perceived higher risk, which can translate into higher project costs (e.g., increased insurance premiums, more extensive testing).

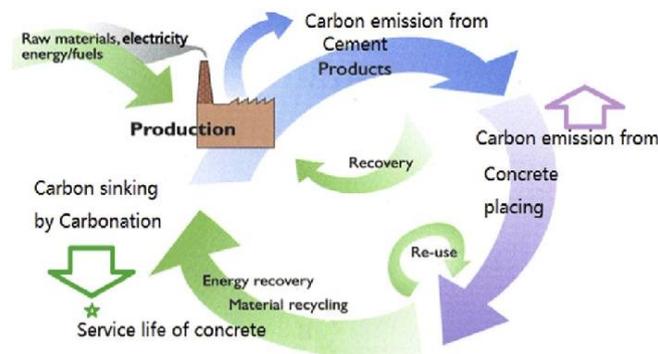


Figure 4. Challenges in sustainable cement production

1.3 Regulatory and Standardization Barriers

Lack of Unified Standards: A major impediment to the wider adoption of sustainable cements in DSM is the absence of comprehensive, internationally recognized standards, specifications, and design codes. Engineers and contractors are hesitant to use materials without clear guidelines for quality control, performance criteria, and acceptance testing.

Regulatory Acceptance: Regulatory bodies often default to established OPC-based methods. Gaining approval for novel sustainable binder applications requires extensive justification, testing, and sometimes pilot projects, which can be time-consuming and costly.

1.4 Long-term Field Performance and Durability Studies

Large-Scale Field Trials and Monitoring: Implementing more pilot projects and full-scale field applications of sustainable cement DSM and establish robust, long-term monitoring programs. This includes in-situ testing (e.g., CPT, SPT, pressuremeter tests), instrumented columns, and extraction of core samples for laboratory analysis over extended periods (decades) to validate long-term strength, stiffness, and durability.

Accelerated Aging and Weathering Tests: Development and standardization of accelerated laboratory tests that reliably simulate long-term environmental degradation (e.g., extreme temperature variations, diverse chemical attacks, wetting-drying cycles) under realistic geotechnical stresses.

Interaction with Ground Environment: Investigating the long-term interaction of sustainable cement-treated soils with diverse groundwater conditions (e.g., saline water, organic-rich water, presence of pollutants) and microbial activity.

CONCLUSIONS

Deep Soil Mixing (DSM) is an indispensable ground improvement technique, but its conventional reliance on Ordinary Portland Cement (OPC) presents a significant environmental challenge due to high CO₂ emissions and resource consumption. This critical review underscores the urgent need and considerable potential for transitioning towards sustainable cementitious materials (SCMs) in DSM soil reinforcement.

The review demonstrates that various SCMs, including supplementary cementitious materials (e.g., fly ash, GGBS) used as partial OPC replacements, and alkali-activated materials (AAMs/geopolymers) offering full OPC replacement, can effectively stabilize a wide range of soils. These sustainable binders have been shown to achieve comparable or even superior mechanical properties (UCS, shear strength, stiffness), hydraulic performance (reduced permeability), and enhanced durability (resistance to sulfates and acids) compared to traditional OPC-treated soils. Furthermore, their ability to valorize industrial waste products and significantly reduce the carbon footprint of ground improvement positions them as key enablers for sustainable construction.

However, the widespread adoption of sustainable cements in DSM is currently hampered by several critical challenges. These include the inherent variability of waste precursor materials, the complexity of mix design optimization, the need for robust long-term performance data from field applications, the economic considerations related to activator costs and supply chains, and crucially, the lack of comprehensive industry standards and regulatory frameworks. Concerns regarding activator leaching and environmental compatibility also require careful and continuous assessment.

ACKNOWLEDGEMENT: This paper was written using data obtained during the TÜBİTAK 1001 project numbered 124 M 468.

REFERENCES

[1] Al-Tabbaa, A. Chemical Stabilisation and Solidification of Contaminated Soils. CRC Press. (2007).

- [2] Andrew, R. Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 11, 1675–1710, 2019.
- [3] Broms, B. B., & Wong, K. S. Soil improvement by deep mixing. *Journal of Southeast Asian Geotechnical Engineering*, 25(1), 1-20, 1994.
- [4] Cristelo, N., Tiago M. Geopolymerization as an alternative to cement in soil stabilization: A review. *Construction and Building Materials*, 30, 35-42, (2012).
- [5] Cristelo, N. Glandinning S. Soil stabilization by alkaline activation of fly ash. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(6), 1601–1617 (2013).
- [6] Jeremiah, J.J.; Abbey, S.J.; Booth, C.A.; Kashyap, A. Geopolymers as Alternative Sustainable Binders for Stabilisation of Clays—A Review. *Geotechnics* 2021, 1, 439-459. <https://doi.org/10.3390/geotechnics1020021>
- [7] Gartner, E. M., and Hirao, H. A review of alternative approaches to the environmental challenges of cement production. *Cement and Concrete Research*, 78, 142-155, 2015.
- [8] Habert, G., et al. Decarbonisation of the cement and concrete industry roadmap for Europe. European Commission, DG Research & Innovation, 2020.
- [9] IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014
- [10] Kitazume, M. *The Deep Mix Method: Principle, Design and Construction*. CRC Press. 2013.
- [11] Kolay, P. K., Fly ash based soil cement for ground improvement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(12), 04015033, 2015.
- [12] Latifi, N., Marto, A., and Eisazadeh, A. Physicochemical Behavior of Tropical Laterite Soil Stabilized with Non-Traditional Additive. *Journal of Acta Geotechnica*, 11(2): 433–443, 2016b
- [13] Maher, M. H., & Ho, Y. C. Permeability of sand-bentonite mixtures with fly ash. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(12), 2139-2152, 1994.
- [14] Nayak, S., & Panda, R. Geotechnical properties of soft soil stabilized with fly ash and cement. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 11(1), 77-87, 2017
- [15] O'Rourke, M., et al. *Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBS) in Concrete: A Guide to its Properties and Use*. Mineral Products Association. 2011.
- [16] Palomo, A. Alkali-activated fly ash-based cements: a new generation of “green” cements. *Journal of Materials Science*, 39(9), 2985-2993, 2004.
- [17] Porbaha, A. State of the art in deep mixing technology. *Deep Mixing International Conference*, Stockholm, 2000
- [18] Provis, J. L., & Bernal, S. A. Geopolymers and related alkali-activated materials. *Annual Review of Materials Research*, 44, 299-327, 2014.
- [19] Puppala, A. J., Geotechnical properties of expansive clays stabilized with fly ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(6), 503-511, 2004.
- [20] Saritha, V., & Sivapullaiah, P. V. Geotechnical properties of a marine clay improved with alkali activated ground granulated blastfurnace slag. *Canadian Geotechnical Journal*, 50(12), 1185-1193, 2013.
- [21] Shi, C., et al. *Alkali-Activated Cements and Concretes*. CRC Press, 2011
- [22] Yaghoubi, E., Sustainable stabilization of problematic soils using alkali-activated materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120300, 2020.
- [23] Cheah, C. W., Chew, R., & Tan, G. H. (Engineering properties of deep soil mixed columns using fly ash and cement for soft clay improvement. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(23), 1-14, 2020.
- [24] Choi, S. G., Yoon, Y. S., & Kim, J. H. Engineering properties of soft ground treated by deep cement mixing method using ground granulated blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, 142, 58-69, 2017
- [25] Du, Y., Ma, S., Wu, S., Jiang, W., & Wei, M. Geopolymer-stabilized marine clay and its long-term performance. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(1), 04019313, 2020
- [26] Kassim, K. A., & Chow, S. H. Stabilisation of marine clay with cement and fly ash. *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(1), 5-13, 2011
- [27] Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. M. Impacts of carbon dioxide emissions from concrete production. *Environmental Science & Technology*, 52(2), 241-255, 2018.

- [28] Yang, P., Ma, S., & Li, M. Deep soil mixing: A review of recent advancements. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(5), 903-915, 2020.
- [29] Phuyal, K., Sharma, U., Mahar, J., Mondal, K., & Mashal, M. A Sustainable and Environmentally Friendly Concrete for Structural Applications. *Sustainability*, 15(20), 14694, 2023. <https://doi.org/10.3390/su152014694>
- [30] Tak, S.; Gupta, P.; Kumar, A.; Sofi, A.; Yun, C.M. Effect of using silica fume as a partial replacement of cement in concrete. *Mater. Today Proc.* 2023.
- [31] Kamel Mohamed Rahla, Ricardo Mateus, Luís Bragança, Comparative sustainability assessment of binary blended concretes using Supplementary Cementitious Materials (SCMs) and Ordinary Portland Cement (OPC), *Journal of Cleaner Production*, V. 220, 2019, Pages 445-45
- [32] Ahmad, J., Kontoleon, K. J., Majdi, A., Naqash, M. T., Deifalla, A. F., Ben Kahla, N., Isleem, H. F., & Qaidi, S. M. A. (2022). A Comprehensive Review on the Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) in Concrete Production. *Sustainability*, 14(14), 8783. <https://doi.org/10.3390/su14148783>
- [33] Anas A. Alrawashdeh, Montserrat Zamorano, Mazen Alshaaer, María Martín-Morales,
- [34] Promoting the use of geopolymer and alkali-activated materials through the identification of critical factors and strategies, *Journal of Building Engineering*, V. 98, 2024, 111078
- [35] Hao-Liang Wu, Fei Jin, An-nan Zhou, Yan-Jun Du, The engineering properties and reaction mechanism of MgO-activated slag cement-clayey sand-bentonite (MSB) cutoff wall backfills, *Construction and Building Materials*, V. 271, 2021, 121890,
- [36] Salas Montoya, A., Rodríguez-Barboza, L. I., Colmenero Fonseca, F., Cárcel-Carrasco, J., & Gómez-Zamorano, L. Y. (2023). Composite Cements Using Ground Granulated Blast Furnace Slag, Fly Ash, and Geothermal Silica with Alkali Activation. *Buildings*, 13(7), 1854. <https://doi.org/10.3390/buildings13071854>
- [37] Cheruvu, R., Kameswara Rao, B. (2024). Enhanced Concrete Performance and Sustainability with Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag – A Comprehensive Experimental Study. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18(3), 161-174. <https://doi.org/10.12913/22998624/186192>
- [38] Abdellatief, M., et al. Development of ultra-highperformance concrete with low environmental impact integrated with metakaolin and industrial wastes. *Case Studies in Construction Materials* 2023; 18(1): e01724–e01724, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01724>
- [39] Zhiyong Liu, Yang Li, Xi Jin, Wanhao Yu, Jinyang Jiang, Improving the freeze-thaw resistance of cementitious materials through strong crown - hard shell - soft core composite phase change materials, *Journal of Building Engineering*, V. 111,2025, 113406,
- [40] Maddalena, R. Freeze/Thaw Resistance of Mortar with Recycled Tyre Waste at Varying Particle Sizes. *Materials* 2023, 16, 1301.

ENHANCING SOIL PROPERTIES WITH COLLOIDAL SILICA AND SUSTAINABLE CEMENT FOR SOIL STABILIZATION

Prof. Dr. NAZİFE ERARSLAN

İzmir Demokrasi University, Civil Engineering Department, Turkey, email:
nazife.dogan@idu.edu.tr , ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-9644>

ABSTRACT

Soil stabilization is a crucial aspect of geotechnical engineering, ensuring the stability and load-bearing capacity of soils for construction projects. Traditional methods often rely on Portland cement as a binding agent. However, the production of Portland cement is a significant contributor to greenhouse gas emissions, accounting for approximately 8% of global CO₂ emissions. The growing demand for infrastructure development coupled with increasing environmental concerns necessitates innovative and sustainable soil improvement techniques. This paper explores the application of colloidal silica and sustainable cement as a combined approach for soil stabilization, focusing on their individual contributions and synergistic effects.

It is examined the utilization of sustainable cementitious materials, such as slag-based cements or alkali-activated materials, as alternatives to traditional Portland cement, mitigating the environmental impact associated with cement production. The existing literature and recent research findings demonstrating the effectiveness of this combined approach in various soil types are examined. Finally, this study discuss the challenges, including strength and fracture toughness and highlight potential future research directions for optimizing the application of colloidal silica and sustainable cement in soil improvement strategies.

Keywords: Colloidal Silica, Sustainable Cement, Soil Stabilization, Soil Improvement, Environmental Sustainability, Geotechnical Engineering.

INTRODUCTION

Unstable soils, characterized by low shear strength, high compressibility, and susceptibility to volume changes, can present significant challenges to infrastructure projects, leading to structural failures, increased maintenance costs, and potential environmental hazards. Traditional soil stabilization techniques primarily rely on the addition of cement, lime, or other chemical agents. While these methods can effectively improve soil properties, they are often associated with environmental concerns due to the high energy consumption in their production, carbon dioxide emissions, and potential leaching of harmful chemicals into the surrounding environment. Therefore, there is a growing need for sustainable and environmentally friendly alternatives to address these limitations.

Colloidal silica (CS), a stable suspension of nanometer-sized silica particles in water, has emerged as a promising alternative for soil stabilization due to its unique properties and environmentally benign nature. CS offers several advantages, including its ability to penetrate into fine-grained soils, react with soil particles to form strong bonds, fill pore spaces to reduce permeability, and improve soil density. Moreover, CS is non-toxic, non-flammable, and produces no harmful byproducts, making it a sustainable solution for soil stabilization applications.

The use of colloidal silica as a soil stabilizer has gained increasing attention in recent years. Research suggests that CS can improve soil strength, reduce hydraulic conductivity, and enhance the resistance to erosion (Galagher 2000, Gallagher and Finsterle 2004, Gallagher and Lin 2009, Hongzhi 2019, Zhao et al. 2020). The mechanism of CS stabilization involves the formation of a silica gel network within the soil pores, which binds soil particles together and increases the soil's resistance to deformation (Toprak and Karakaplan 2019, Sharma et al. 2021). The mechanism of soil stabilization using colloidal silica involves a complex interplay of physical and chemical processes that result in improved soil properties. These processes can be broadly categorized into particle bonding, pore filling, and increased soil density. 1) Particle Bonding: CS particles, typically ranging in size from 1 to 100 nanometers, possess a large surface area and high surface energy (Figure 1a). When CS is introduced into soil, these particles interact with the soil particles through electrostatic forces and van der Waals interactions. This interaction leads to the formation of silica bridges by adhering to adjacent soil particles. As the water in the CS suspension evaporates, the silica particles aggregate and form a gel-like network that binds the soil particles together, increasing the soil's shear strength and resistance to deformation (Figure 1b). The strength of the bonds formed depends on factors such as the silica concentration, particle size, pH, and type of soil. 2) Pore Filling: The nanometer-sized CS particles can effectively penetrate the pore spaces within the soil matrix. By filling these pores, CS reduces the soil's permeability by hindering the flow of water. This reduces water infiltration, which is crucial for preventing soil erosion and maintaining the stability of slopes and foundations. The reduction in permeability also enhances the soil's resistance to swelling and shrinkage, leading to improved volume stability. 3) Increased Soil Density: The addition of CS and the subsequent formation of silica bonds result in a denser soil structure. The reduction in pore spaces and the increased particle bonding contribute to a higher unit weight and improved load-bearing capacity. This densification effect is particularly beneficial for improving the stability of loose or compressible soils.

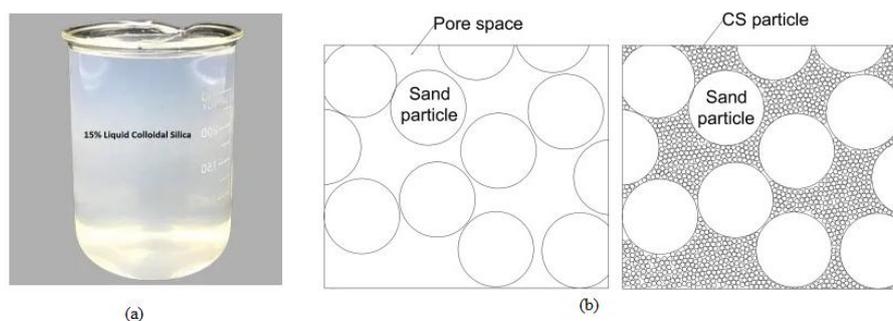


Figure 1. 15% CS solution b) interaction between soil particles and CS filled voids

Traditionally, Ordinary Portland Cement (OPC) has been the dominant binder used for soil stabilization due to its readily available nature and proven effectiveness. However, the production of OPC is an energy-intensive process that releases significant amounts of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere, contributing to global warming. The cement industry is estimated to be responsible for approximately 5-8% of global anthropogenic CO₂ emissions. This has prompted a growing interest in exploring sustainable alternatives to OPC in various applications, including soil stabilization. Sustainable cementitious materials, such as supplementary cementitious materials (SCMs) and alkali-activated materials (AAMs), offer viable options for reducing the environmental footprint of soil stabilization. SCMs are by-products or waste materials from other industries that possess cementitious properties, such as fly ash, slag, silica fume, and natural pozzolans (Skibsted and Snellings 2019, Fode et al. 2023, Nassiri et.al. 2025, Marandi and Shirzad 2025).

METHODS AND MATERIALS

The soil used in this study was a locally sourced silty sand, classified according to the Unified Soil Classification System (USCS). The soil was characterized by its grain size distribution, Atterberg limits, and specific gravity, which were determined according to ASTM standards. The primary objective of this research is to evaluate whether a 5 % colloidal silica + 5 % OPC blend can significantly improve the mechanical properties of a silty-sand soil compared with a conventional 5 % SCM. The soil properties are given below:

Grain-size distribution (ASTM D422): 9 % gravel, 58 % sand, 33 % silt & clay.

Atterberg limits (ASTM D4318): LL = 42 %, PL = 22 %, PI = 20 %.

Specific gravity (Gs): 2.68.

Maximum dry density (γ_d , ASTM D698): 1.71 g cm⁻³ at 12 % optimum moisture content (OMC).

The mix design will consist of 5% colloidal silica and 5% sustainable cement by dry weight of soil. This specific ratio was chosen based on justification for the choice of ratio, e.g., preliminary studies, literature review, or cost considerations. For example, if the dry weight of soil is 1000 grams, the weight of cement will be 50 grams (5% of 1000g) and the weight of CS (expressed as dry silica) will be 100 grams (10% of 1000g). Since CS is supplied as a suspension, the required volume of CS solution needs to be calculated based on the silica content. The total water content added to the mix will be a combination of the water already present in the CS suspension and any additional water needed to reach the optimum moisture content (OMC) for compaction.

The sustainable cement used in this study was NOVOCEM®. Distinctively, NOVOCEM® is classified as a low-carbon emissions cement, a critical characteristic that underscores its environmental benefits in an era focused on sustainable construction. This reduced carbon footprint is primarily achieved through its unique composition, which incorporates a substantial amount of additives. Specifically, these supplementary cementitious materials (SCMs) constitute a significant percentage of its content, ranging from 36 to 50 percent by mass.

2.2 Specimen Preparation

The SCB specimens were prepared according to the following procedure:

Soil Mixing: The soil was air-dried and thoroughly mixed to ensure homogeneity.

Stabilizer Addition: Cement (5% by weight of dry soil) was added to the dry soil and mixed thoroughly. Then, a 5% CS solution (by weight of dry soil) was added to the soil-cement mixture. The mixture was then thoroughly mixed to ensure uniform distribution of the stabilizers.

Water Addition: The appropriate amount of water, determined based on the optimum moisture content of the soil, was added to the soil-cement-CS mixture to achieve workability.

Molding: The mixture was compacted into cylindrical molds of 150 mm diameter and 75 mm height using a manual compactor. The compaction was performed in three layers to ensure uniform density throughout the specimen.

Curing: The specimens were extracted from the molds after 24 hours and cured in a controlled environment ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ and 95% relative humidity) for 28 days.

Notch Cutting: After the curing period, each cylindrical specimen was cut in half to create two semi-circular specimens. A notch with a depth equal to 0.3 times the radius of the specimen ($a = 0.3R$) was carefully cut at the center of the flat surface using a precision saw. The notch width was kept constant at 3mm.

The semi-circular bending (SCB) tests were conducted using a universal testing machine (UTM). The geometrical parameters are shown in Figure 2. B , thickness of the SCB specimen, is 65mm. The specimens were placed on a supporting fixture with a span length (S) equal to 0.8 times the diameter ($S = 0.8D$). A vertical load was applied at the center of the specimen through a loading nose with a constant displacement rate of 0.5 mm/min until failure. The load and displacement data were continuously recorded during the test. At least three replicates were tested for each stabilization condition.

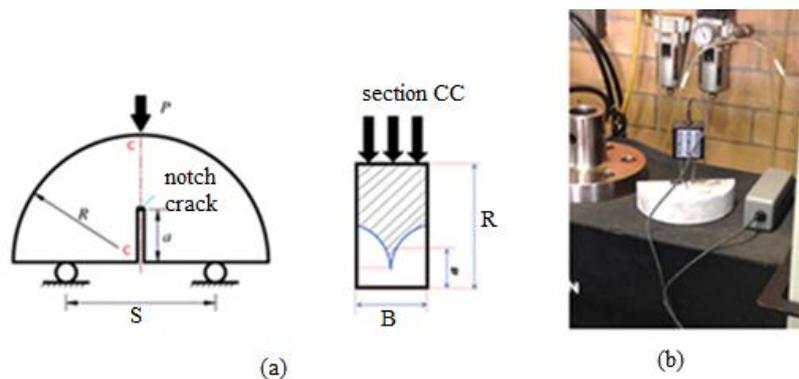


Figure 2. The geometrical parameters and cross-sectional view of SCB specimen (b) some prepared SCB specimens and CMD transducer

RESULTS AND DISCUSSION

The calculated fracture toughness (K_{IC}) values for the control and stabilized specimens are presented in Table 1. The results demonstrate a substantial increase in fracture toughness for

the stabilized specimens compared to the control specimen. This suggests that the combined stabilization method significantly improves the resistance to crack propagation in the soil. The increase in KIC can be attributed to the enhanced interparticle bonding and increased cohesion resulting from the chemical reactions between the CS, cement, and soil particles.

Table 2. SCB test results

Specimen type	Average K _{1c} (avg. of three specimens)
5% CS+5% SCM+soil	0,95
5% CS+5% SCM+soil	0,94
5% CS+5% SCM+soil	0,92
5% OPC+soil	0,73
5% OPC+soil	0,77
5% OPC+soil	0,75

Figure 3 shows one of the load-COD (crack opening displacement) graphs. The analysis of load-load point displacement (COD) curves provided a clear visual distinction in the mechanisms of damage accumulation between the tested specimens. Specifically, specimens prepared using OPC exhibited a characteristic load-COD profile indicative of crack initiation and propagation occurring largely within the elastic range (Figure 3b). This suggests that in these OPC-based specimens, fracture energy was primarily dissipated through the elastic deformation of the material surrounding the growing cracks, with minimal yielding. In contrast, specimens incorporating colloidal silica and SC displayed a markedly different load-COD response (Figure 3a). These specimens showed substantial elastoplastic deformations, characterized by significant non-linear behavior and yielding, persisting up to the point of peak load. Following this peak strength, a pronounced strain softening region was observed, signifying a substantial loss of load-carrying capacity as damage progressed, likely involving extensive plastic deformation and crack opening (Figure 3b).

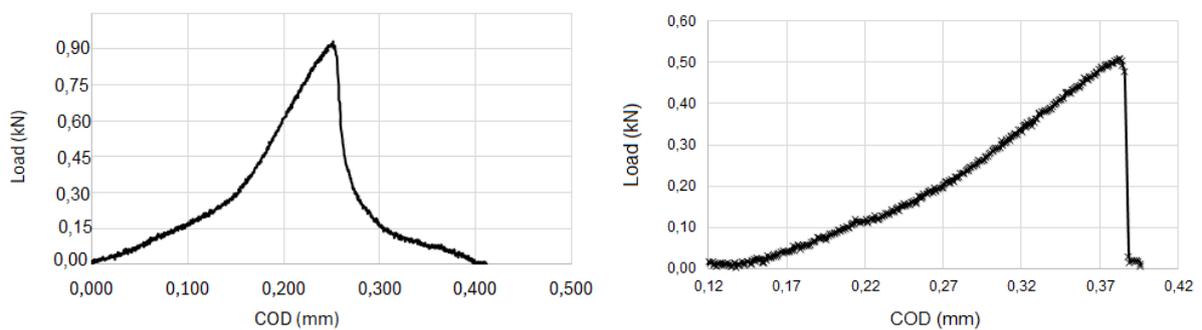


Figure 3. Load-COD graphs of tests with SCB specimens prepared using a) SC+CS and b) OPC

The experimental results indicate that the combined stabilization of soil with 5% CS and 5% cement significantly improves its fracture resistance. The increase in fracture load, fracture

toughness, and fracture energy suggests that this stabilization method can effectively enhance the durability and long-term performance of soil structures. The synergistic effect of CS and cement may be attributed to the following factors:

Enhanced Interparticle Bonding: CS promotes the formation of siloxane bonds (Si-O-Si) between soil particles, increasing cohesion and reducing the potential for particle separation. Cement provides a strong cementitious matrix that binds the soil particles together (Azimi-Pour et.al. 2020, Choi 2025).

Improved Microstructure: CS can fill the voids in the soil matrix, reducing permeability and increasing density. This improved microstructure enhances the transfer of stresses across the soil, increasing its resistance to crack initiation and propagation (Nia and Shafei 2024).

Increased Ductility: CS can improve the ductility of cement-stabilized soil, mitigating the embrittlement often associated with cement stabilization alone. This improved ductility allows the soil to deform more before cracking, increasing its resistance to fracture (Kumar and Rajasekhar 2021).

CONCLUSIONS

This research demonstrates the effectiveness of combined colloidal silica (CS) and cement stabilization in enhancing the fracture resistance of soil. The SCB test results show that the addition of 5% CS and 5% cement significantly improves the fracture load and fracture toughness of the stabilized soil. This indicates that this stabilization method can effectively improve the durability and long-term performance of soil structures.

Load-COD graphs showed that the load-COD relationships of the specimens prepared using OPC, clearly indicated that stress-induced crack initiation and propagation occurred predominantly within the elastic domain. This implies that the energy absorbed during fracture was largely a result of elastic deformation. In contrast, specimens incorporating CS and SC displayed a fundamentally different response, characterized by substantial elastoplastic deformations that extended up to the peak load. Following this peak, a pronounced strain softening region was evident, underscoring the ductile nature and significant energy dissipation capabilities of these eco-friendly modified materials.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was conducted with the support of the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under project number 124M468 of the TUBİTAK 1001 program.

REFERENCES

- [1] El-kamash, A., Elkady, T., & Zayed, M. Stabilization of sand dunes using colloidal silica for coastal protection. *Journal of Coastal Research*, 34(2), 338-345, 2018.
- [2] Gallagher, P. M., & Mitchell, J. K. Influence of colloidal silica grout on liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(8), 618-628, 2002.
- [3] Gallagher P, Lin Y. Colloidal silica transport through liquefiable porous media. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, V. 135(11), 1702 – 1712, 2009

- [4] Gallagher, P.M. Passive site remediation for mitigation of liquefaction risk. Doctoral dissertation, Virginia Tech., 2000
- [5] Gallagher, P.M., Finsterle, S. Physical and numerical model of colloidal silica injection for passive site stabilization. *Vadose Zo. J.* 3, 917–925, 2004.
- [6] Gallagher, P.M.; Conlee, C.T.; Rollins, K.M. Full-Scale field testing of colloidal silica grouting for mitigation of liquefaction risk. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 133, 186–196, 2007.
- [7] Hongzhi C. Soil liquefaction mitigation in Geotechnical engineering: An overview of recently developed methods, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 273 291, 2019
- [8] Zhao M, Liu G, Chong Zhang 1,2, Wenbo Guo 1,2 and Qiang L. State-of-the-Art of Colloidal Silica-Based Soil Liquefaction Mitigation: An Emerging Technique for Ground Improvement. *Appl. Sci.*, 10, 15, 2020.
- [9] Gallagher, PM, Mitchel JK. Influence of colloidal silica grout on liquefaction potential and cyclic undrained behavior of loose sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (9): 1017-1026, 2002.
- [10] Toprak S., İnel M., Karakaplan E. Soil improvement to counter liquefaction using colloidal silica grout injection. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 20, No 1, 135–145, 2019
- [11] Sharma M, Satyam N., Reddy KR. State of the Art Review of Emerging and Biogeotechnical Methods for Liquefaction Mitigation in Sands. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, V.25 (1), 2021
- [12] Skibsted J., Snellings R., Reactivity of supplementary cementitious materials (SCMs) in cement blends, *Cement and Concrete Research*, V. 124, 105799, 2019.
- [13] Fode T.A., Jande Y.A.C, Kivevele T. Effects of different supplementary cementitious materials on durability and mechanical properties of cement composite – Comprehensive review, *Heliyon*, V.9(7), e17924, 2023.
- [14] Nassiri, S., Butt, A.A., Zarei, A., Roy, S., Filani, I., Pandit, G.A., Mateos, A., Haider, M.M.; Harvey, J.T. Opportunities for Supplementary Cementitious Materials from Natural Sources and Industrial Byproducts: Literature Insights and Supply Assessment. *Buildings*, 15, 3099, 2025
- [15] Marandi, N., Shirzad, S. Sustainable cement and concrete technologies: a review of materials and processes for carbon reduction. *Innov. Infrastruct. Solut.* 10, 408, 2025.
- [16] Mohammad Azimi-Pour, Hamid Eskandari-Naddaf, Synergistic effect of colloidal nano and micro-silica on the microstructure and mechanical properties of mortar using full factorial design, *Construction and Building Materials*, Volume 261, 2020
- [17] Choi, Y.-C. The Effect of Colloidal Nano-Silica on the Initial Hydration of High-Volume Fly Ash Cement. *Materials*, 18, 2769, 2025. <https://doi.org/10.3390/ma18122769>
- [18] Nia, S.B., Shafei B., Synergistic effects of nano and micro silica on fresh and hardened properties of self-consolidating concrete, *Case Studies in Construction Materials*, V. 21, e03443, 2024
- [19] Kumar G.P, Rajasekhar K., Effect of colloidal silica on compressive strength of concrete, *Materials Today: Proceedings*, V. 56(1), 520-526, 2022.

A NUMERICAL INVESTIGATION OF THERMOMECHANICAL BEHAVIOR AND COHESIVE DAMAGE MECHANISMS IN GEOMATERIALS

Prof. Dr. Nazife Erarslan

İzmir Demokrasi University, Civil Engineering Department, Turkey, email:
nazife.dogan@idu.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-9644>

Abstract

Soil cohesion, a critical parameter in geotechnical engineering, is significantly affected by temperature variations. This paper presents a comprehensive numerical analysis of the thermal effects on soil cohesion, exploring the underlying mechanisms and employing advanced computational methods to simulate the complex thermo-mechanical behavior. The Fracture Analysis Code (Franc2D) was used to perform numerical analyses of the effect of temperature on the cohesive damage mechanisms in sand-bentonite composites. Findings from nonlinear stress analyses (NLA) using a cohesive zone model (CZM) revealed that the greatest traction opening and sliding in the cohesive crack occurred at thermal loadings of 80°C in the specimens. The paper concludes with a case study illustrating the application of the numerical model to a practical geotechnical problem, such as the stability analysis of slopes under thermal gradients. The results demonstrate the sensitivity of soil cohesion to temperature changes and underscore the necessity of incorporating thermal effects in geotechnical design, particularly in regions with significant temperature fluctuations or engineered thermal applications.

Keywords: cohesive damage of geomaterials, thermal effect on soil, Franc2D and soil mechanics

1. INTRODUCTION

Geomaterials constitute the foundational elements for a vast array of engineering applications, ranging from civil infrastructure and resource extraction to energy systems and waste management. Their inherent heterogeneity, anisotropy, and often brittle or quasi-brittle nature render their behavior highly complex. Furthermore, many contemporary engineering challenges, such as deep geological repositories for nuclear waste, geothermal energy extraction, CO₂ sequestration, and advanced rock excavation techniques, expose geomaterials to significant and often cyclic thermal loads in conjunction with mechanical stresses. Traditional mechanical models often neglect thermal effects, or treat them as decoupled phenomena, which is inadequate for scenarios involving substantial temperature fluctuations or gradients. Elevated temperatures can induce thermal stresses due to differential thermal expansion, alter material properties (e.g., stiffness degradation, strength reduction, increased ductility), and accelerate chemical reactions. These changes can lead to the initiation of micro-cracks, their coalescence, and ultimately macro-scale fracture, significantly compromising the material's load-bearing capacity and permeability. The precise mechanisms of this damage

evolution, particularly at material interfaces or within heterogeneous microstructures, are often governed by cohesive forces that manifest as localized fracture processes rather than instantaneous brittle failure.

Early work on geomaterial thermomechanics primarily focused on thermoelasticity and simplified plastic models [1, 2]. The advent of Continuum Damage Mechanics (CDM) provided a framework to describe distributed degradation, however often struggled with localization and explicit crack propagation [3, 4]. Fracture mechanics concepts, especially those based on energy release rates, offered insights into macro-crack growth, but not the nucleation phase or diffuse micro-damage. Cohesive Zone Models (CZM), pioneered by Barenblatt [5] and Dugdale [6], and later formalized by Tvergaard and Hutchinson [7], have proven highly effective in bridging the gap between continuum damage and discrete fracture, allowing for the simulation of crack initiation, stable growth, and unstable propagation by defining a traction-separation law across a potential crack plane.

The application of CZM to geomaterials has seen significant advancements, often coupled with plastic constitutive laws [8, 9]. However, the integration of temperature-dependent material properties and fully coupled thermomechanical effects into CZMs for geomaterials is a more recent development [10, 11]. Studies have explored temperature effects on fracture toughness and cohesive strength, however a comprehensive investigation into the interplay of thermal gradients, thermal stresses, and evolving cohesive damage in complex geomaterial configurations is still needed [12, 13].

The primary contributions of this study lie in the synergistic integration of advanced thermomechanical constitutive modeling with cohesive damage mechanics tailored for geomaterials, providing a detailed understanding of how thermal fields interact with microstructural weaknesses to drive fracture. This approach enables a more accurate and predictive simulation of geomaterial behavior in challenging thermomechanical environments. The CZM provides a powerful tool to simulate damage initiation and propagation in quasi-brittle materials like geomaterials. It represents the fracture process zone ahead of a crack tip by a finite-sized region where material separation occurs gradually, resisted by cohesive tractions.

2. NUMERICAL METHODOLOGY

This section outlines the computational approach used to implement the theoretical framework. The Finite Element Method (FEM) is employed, given its versatility in handling complex geometries, material nonlinearities, and coupled field problems. In this study, fracture analysis code (Franc2D) was used for numerical analyses of the effect of temperature on the cohesive damage mechanism of geomaterial composites. FrancC2D is a powerful computer code designed specifically for fracture analysis in two dimensions. It is most important to analyze the stress distribution within the uncracked structure for varying loading conditions before carrying out any crack growth analysis. The initial stress analysis is used to check the correctness of the model in representing the geometry, material properties, boundary conditions and loads applied. It is also needed to identify areas of high stress concentration that are critical and indicate potential crack initiation locations. Moreover, the pre-crack stress field is the starting point for further crack analyses and influences the predicted crack path and propagation behavior.

The first step to do the numerical analysis using FRANC2D was to create an appropriate FEA model. This includes geometry definition to define the structure geometry correctly using nodes and elements (Figure 1). The second thing was to assign correct material properties (Young's modulus, Poisson's ratio, yield strength, etc.) to the model. Then boundary conditions were defined with correct constraints and supports to exactly mimic the experimental setup. These include fixed supports, pinned supports, and symmetry conditions. The final step was to impose the corresponding external loads (e.g., forces, pressures, moments) on the model.

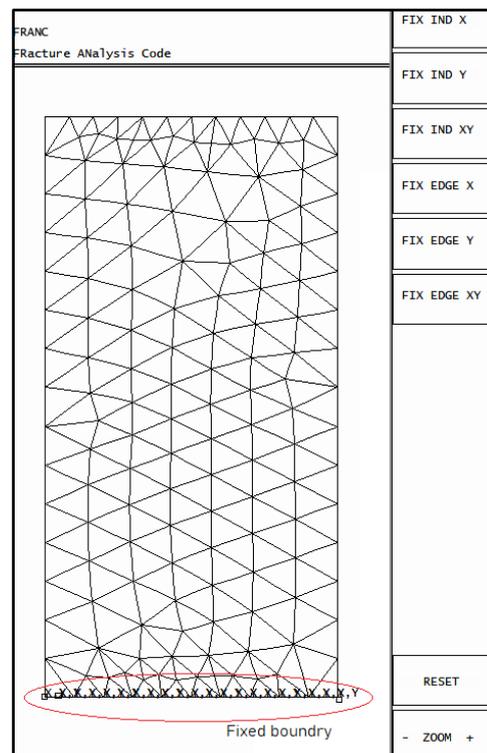


Figure 1 Meshed FRANC2D model

2.1 Discretization and Element Types

Continuum Elements: Standard 4-node (2D) or 8-node (3D) linear or quadratic continuum elements (e.g., CPEG4T, CPE4T for 2D plane strain coupled thermo-mechanical elements in Abaqus) are used for the bulk geomaterial. These elements have both displacement and temperature degrees of freedom at each node.

Cohesive Elements: Interface elements, typically 4-node (2D) or 8-node (3D) cohesive elements (e.g., COH2D4, COH3D8), are inserted along potential fracture paths or at material interfaces. These elements also possess coupled thermomechanical capabilities, allowing for thermal expansion and heat conduction across the interface, in addition to carrying mechanical tractions. The cohesive elements facilitate the application of the traction-separation law and track the damage evolution variable.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The numerical investigations consistently highlight several critical aspects of thermomechanical behavior and cohesive damage in geomaterials. Thermal stresses are not mere additive components but actively interact with mechanical stresses to accelerate damage initiation. For instance, tensile thermal stresses could lower the effective stress required for mechanical damage, and vice versa. This leads to a more complex and often more detrimental damage state than predicted by uncoupled analyses.

FRANC2D supplies powerful post-processing environment, offering a comprehensive suite of tools specifically designed for the visualization and in-depth analysis of the resulting stress distribution. These tools are crucial for engineers to interpret complex numerical data and gain actionable insights into structural behavior and potential failure mechanisms. The "Stress Contours" of Franc2D feature provides an immediate and intuitively understandable visual representation of the stress distribution across the entire structure or a selected region. These contours typically employ a color-coded spectrum, where different colors correspond to varying stress magnitudes (e.g., cool colors like blue for low stress, transitioning to warm colors like red for high stress). These are regions where geometric discontinuities (such as holes, fillets, corners, or, critically in FRANC2D's domain, crack tips) cause a localized amplification of stress, significantly exceeding the nominal stress in the surrounding material. Complementing the qualitative insights provided by stress contours, FRANC2D also offers "Stress Plots": Unlike the area-based visualization of contours, stress plots typically present quantitative stress values along a user-defined path, at specific points, or as a distribution across a selected cross-section. These plots could be one-dimensional (e.g., stress vs. distance along a line) or two-dimensional (e.g., plotting different stress components – normal, shear, principal – on a single graph, or plotting stress values over time for transient analyses). This capability is invaluable for extracting precise numerical data, comparing stress levels at various points, understanding local stress gradients, and verifying that stresses remain within allowable material limits or meet specific design criteria.

First series of numerical analysis results are shown in Figure 2. The induced tensile stress region is located at the centre of the specimen. The localization of the maximum tensile stress at the specimen's center is particularly crucial. It suggests that this central region, being relatively free from the complex frictional end effects introduced by the loading platens at the top and bottom surfaces, represents the most critical point for crack initiation. This finding strongly indicates that brittle and semi-brittle failure under uniaxial compression, often manifested as axial splitting or brittle fracture, is not primarily due to compressive crushing but rather is instigated by these internally induced tensile stresses. Moreover, it was found that a considerable amount of shear stress developed in bottom part of the specimen

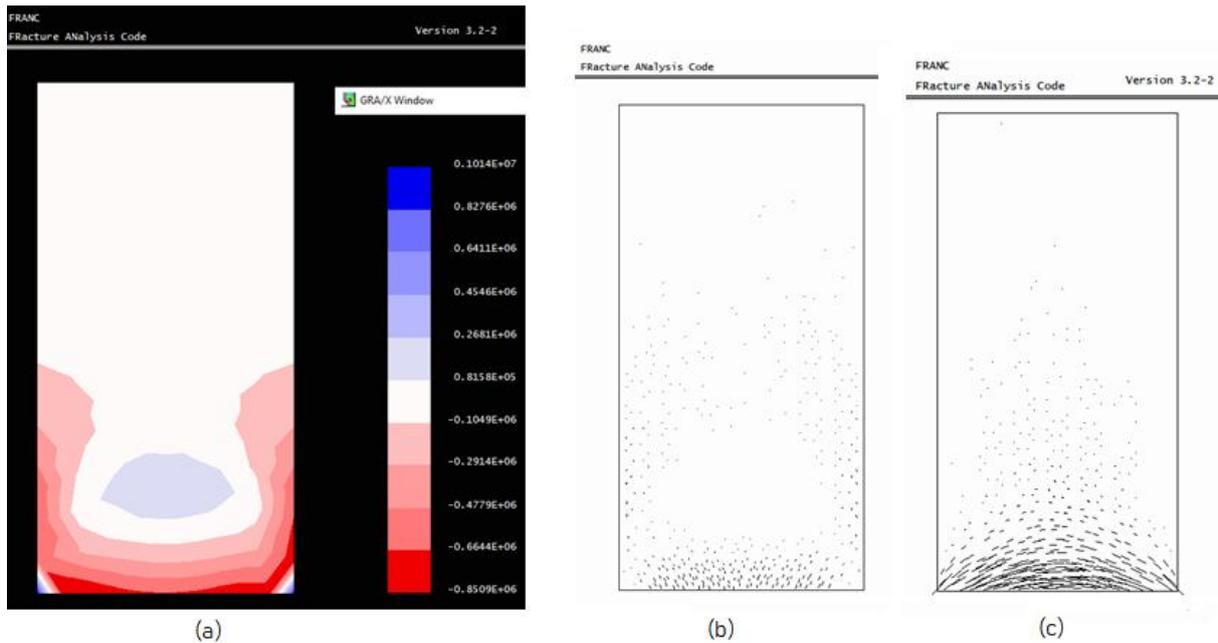


Figure 2 a) The counter plot of stress distribution analysis results as maximum principle stress (+: tensile, -: compressive stresses b) tensile stress distribution as stress bar plot c) stress bars plots of shear stress distribution

Following preliminary phase of stress analyses, the subsequent critical stage involved conducting fracture characteristic analyses. This sequential approach is fundamental in fracture mechanics, where understanding the stress distribution is a prerequisite for accurately predicting fracture initiation and propagation. It was able to accurately model not only the critical stages of crack initiation, where local stresses and thermal gradients exceeded material strength, but also the subsequent complex pathways of crack propagation through the material under varying thermal and mechanical conditions. This comprehensive capability was vital for understanding the thermo-mechanical response and predicting the structural integrity under such demanding operational conditions.

The introduction of elevated or high-temperature loading regimes significantly amplifies the complexity of fracture and damage analysis. Within the framework of fracture mechanics, the cohesive zone represents a localized region ahead of a propagating crack tip where material degradation occurs gradually, prior to complete macroscopic separation. This critical zone is mathematically characterized by a Traction-Separation Law (TSL) and the Cohesive Zone Model (CZM) [4, 6, 14]. The TSL is a constitutive relationship that precisely defines the evolution of cohesive stress (traction) across the crack faces as a function of their relative separation (crack opening displacement). This law effectively captures the energy dissipation mechanisms associated with micro-damage processes leading to fracture and dictates how the material weakens until complete rupture. For the numerical simulations in this study, the advanced finite element software Franc2D was employed, specifically using its capabilities for implementing the CZM.

Figure 3 shows the principal stress distribution along the point where the possible fracture initiation field. A transition towards a mixed-mode fracture behavior where shear forces play a more dominant role alongside the opening forces in plots given in Figure 3. This altered

stress state could lead to different crack propagation paths, increased ductility, or even delamination mechanisms depending on the material's response to shear. Despite the increased shear component and the complex thermal loading conditions, the analysis unequivocally demonstrated that the dominant stresses at the crack tip in the thermally loaded specimen remained tensile stresses. While tensile stresses are the primary drivers for crack initiation and propagation in most brittle and quasi-brittle materials, fundamentally pulling the material apart rather than compressing it or causing pure shear. Thus, while the high temperature loading introduces a notable shear component, it does not fundamentally alter the tensile nature of the maximum principal stress responsible for the ultimate material separation, suggesting that the crack still "opens" however potentially with a stronger,

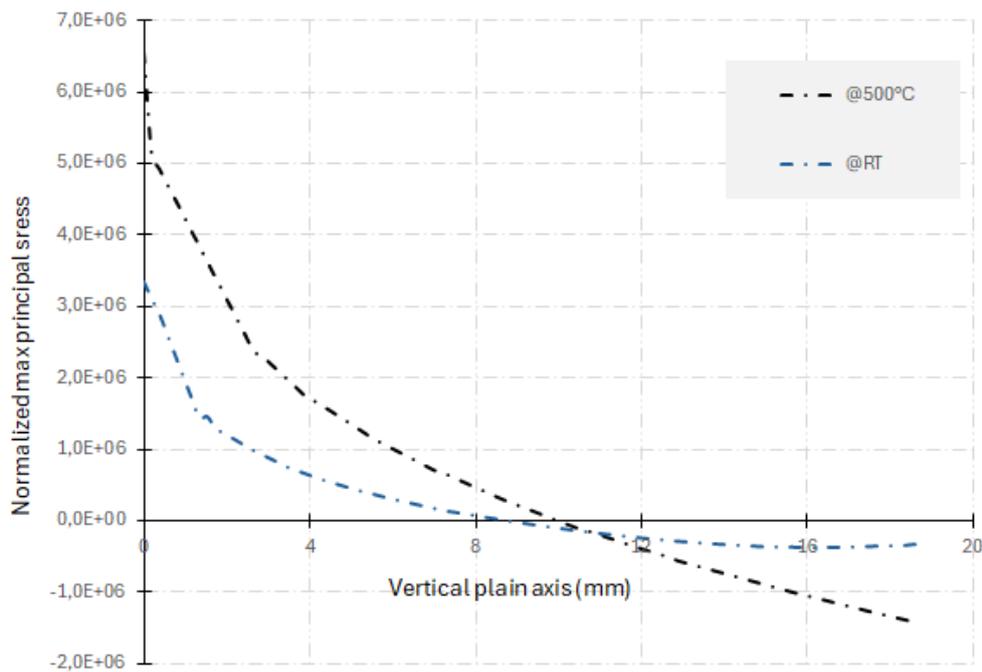


Figure 3 Normalized principal stress distribution (+: tensile; -: compressive)

CZMs effectively model the transition from micro-damage to macro-fracture, capturing the gradual softening and energy dissipation within the fracture process zone. This is particularly important for geomaterials, which are quasi-brittle and do not exhibit perfectly sharp cracks. The thermal dependence of CZM parameters allows for realistic brittle-ductile transitions in fracture behavior as a function of temperature [15, 16]. CZMs analysis findings using with FRANC2D are shown in Figure 4. Results revealed that the most demanding conditions, characterized by the highest cohesive traction opening (normal separation) and traction sliding (tangential shear) stresses across the potential fracture plane, were observed in the specimens loaded at 500°C. Analyzing the traction sliding graph given in Figure 4 reveals crucial insights into the fracture behavior of the material containing a chevron notch. This is evidenced by the behavior of the Non-Linear (NL) couple interface elements positioned along the prospective crack path. These elements, designed to simulate cohesive zone behavior, initially experience a pure tensile state with negligible or zero sliding displacement between their coupled surfaces. This indicates that the crack opening is primarily driven by tensile forces perpendicular to the

crack plane, with minimal shear forces contributing to the crack growth at this early stage. As the applied load continues to rise, the cohesive stable crack length can be accurately tracked and determined. This stable growth phase persists until a critical load threshold is reached. Beyond this threshold, the NL-couple interface elements begin to exhibit significant sliding displacement between their coupled surfaces. This onset of sliding signifies a transition in the fracture mode, indicating that shear forces are now playing a more prominent role in the crack propagation process. The graph shown in Figure 4 shows the evolution of the crack from pure tension induced crack growth to a mixed mode condition leading to final failure through the interface elements.

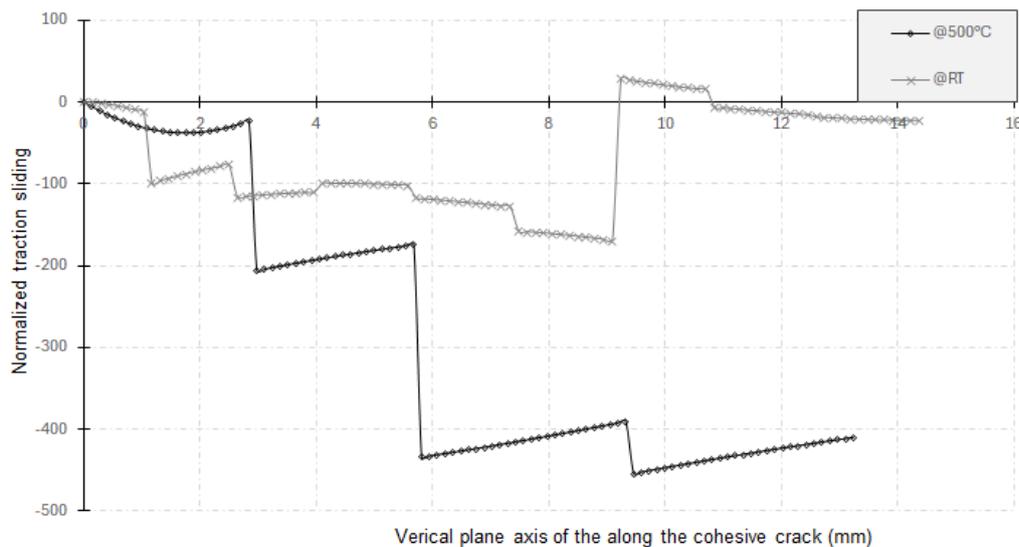


Figure 4 Traction sliding plots using CZMs

4. CONCLUSIONS

The outcomes of this study showed that the numerical investigations consistently highlight several critical aspects of thermomechanical behavior and cohesive damage in geomaterials. It was found that the induced tensile stress region is located at the centre of the specimen. The localization of the maximum tensile stress at the specimen's center is particularly crucial. It suggests that this central region, being relatively free from the complex frictional end effects introduced by the loading platens at the top and bottom surfaces, represents the most critical point for crack initiation. Moreover, it was found that a considerable amount of shear stress developed in bottom part of the specimen.

CZM analysis results revealed that the most demanding conditions, characterized by the highest cohesive traction opening (normal separation) and traction sliding (tangential shear) stresses across the potential fracture plane, were observed in the specimens loaded at 500°C. Moreover, CZM analysis results showed a mixed mode I-II transition stress state, which could lead to different crack propagation paths, increased ductility, or even delamination mechanisms depending on the material's response to shear. Despite the increased shear component and the complex thermal loading conditions, the analysis demonstrated that the dominant stresses at the crack tip in the thermally loaded specimen remained tensile stresses.

REFERENCES

- [1] Garcia L. M, Pinyol, N.M, Lloret A., Soncco E.A. Influence of temperature on residual strength of clayey soils, *Engineering Geology*, 2023;323:107220, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107220>
- [2] Güneri E. Effect of *Zostera Marina* Plant on Zeolite-Bentonite Mixtures. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2024;49(1):819-827. doi:10.1007/s40996-024-01665-6. <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01665-6>
- [3] Güneri E, Yükselen Aksoy Y. Investigation of Volumetric Deformation and Shear Strength Behavior of Sand-Bentonite Mixtures under High Temperature in the Presence of Perlite Additive. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*. 2022;24(72):717-723. doi:10.21205/deufmd.202247203
- [4] Gong J, Zou D, Kong X, Qu Y, Liu J. An extended meshless method for 3D interface simulating soil-structure interaction with flexibly distributed nodes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2019;125:105688. doi:10.1016/j.soildyn.2019.05.027
- [5] Barenblatt G. "The mathematical theory of equilibrium cracks in brittle fracture". *Advances in Applied Mechanics Volume 7 (PDF)*. 1962;7: 55–129. doi:10.1016/S0065-2156(08)70121-2. ISBN 9780120020072
- [6] Dugdale D.S Yielding of steel sheets containing slits. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. (1960); 8 (2): 100–104.. doi:10.1016/0022-5096(60)90013-2
- [7] Tvergaard, V., & Hutchinson, J. W. The relation between crack growth resistance and fracture process zone parameters. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 40(6), 1377-1397, 1992.
- [8] Camanho, P. P., & Davila, C. G. Mixed-mode decohesion finite elements for the simulation of delamination in composite materials. NASA/TM-2002-211737, 2002.
- [9] Wu, J. Y., & Fan, S. C. A cohesive fracture model for concrete incorporating damage and plasticity. *Engineering Fracture Mechanics*, 79, 1-17, 2012.
- [10] Xu, X. P., & Needleman, A. Numerical simulations of fast crack growth in brittle solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 42(9), 1397-1434, 1994.
- [11] Kjellstrom, J., & Ristinmaa, M. Coupled thermo-mechanical modelling of fracture processes in metals. *Engineering Fracture Mechanics*, 74(16), 2541-2559, 2007.
- [12] Guo, R., & Zaoui, S. A thermo-mechanical cohesive zone model for fatigue crack propagation in heterogeneous materials. *International Journal of Fatigue*, 124, 303-315, 2019.
- [13] Li, H., Xu, J., & Zhang, Y. Thermomechanical cohesive zone modeling of fracture in brittle materials with temperature-dependent properties. *International Journal of Solids and Structures*, 148-149, 1-12, 2018.
- [14] Proia R, Salvatore E, Croce P. Compacted sand–bentonite mixtures for the confinement of waste landfills. *Acta Geotechnica*. 2024; 19; 8007–8022 <https://doi.org/10.1007/s11440-024-02335-7>
- [15] Chen H, Lv H-B, Chen Z- han, Li Y- han. The Research on Strength and Deformation Behaviors of Buffer/Backfill Material under High-Temperature and High-Pressure Conditions. *Advances in Civil Engineering*. 2019;2019(1). doi:10.1155/2019/5064690
- [16] Tsakmakis A, Gibb A, and Vormwald, M. Modeling of Crack Propagation in Ductile Materials Under Cyclic, Proportional and Non-Proportional Loading Conditions, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*; 1–12, 2025, <https://doi.org/10.1111/ffe.70029>

AI-DRIVEN SOIL LIQUEFACTION ASSESSMENT WITH A NATURAL LANGUAGE INTERFACE

^{1*}MUHAMMED FATİH AYSAN

²PROF. DR. NAZİFE ERARSLAN DOĞAN

²İzmir Demokrasi Üniversitesi – 2417102002@std.idu.edu.tr -ORCID: 0009-0003-5395-7762

²İzmir Demokrasi Üniversitesi – nazife.dogan@idu.edu.tr -ORCID: 0000-0002-5202-9644

ABSTRACT

For decades, the assessment of soil liquefaction potential has relied on classical empirical methods based on Standard Penetration Test (SPT) data. This study addresses these limitations by proposing a data-driven framework that leverages Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) to predict soil liquefaction with higher accuracy and reduced uncertainty. The primary objective of this research is to develop and validate a robust predictive model using a comprehensive, multi-parameter SPT database compiled from various seismic zones in Turkey. The methodology involves four key phases: (1) Data Management, where a large dataset including SPT-N values, groundwater levels, fines content, and seismic parameters is collected and pre-processed; (2) Model Development, where algorithms such as Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machines (SVM), and Random Forests (RF) are trained and fine-tuned through hyperparameter optimization and k-fold cross-validation; (3) LLM-MCP Integration, where the optimized models are integrated with a Large Language Model (LLM) via a Model Context Protocol (MCP) architecture, enabling engineers to perform analyses using natural language queries without needing complex coding knowledge; and (4) Regional Mapping & Comparative Evaluation, where the model outputs are processed in a Geographic Information System (GIS) to generate regional liquefaction hazard maps, which are then compared against maps produced by conventional methods. The proposed system aims to democratize complex geotechnical analysis by providing an accessible, intuitive interface for field engineers. Furthermore, by automating the generation of GIS-based hazard maps, the framework offers a powerful tool for real-time decision support in disaster risk management and urban planning.

Keywords: Soil Liquefaction, Artificial Intelligence, Machine Learning, Standard Penetration Test (SPT), Large Language Model (LLM), Model Context Protocol (MCP), GIS, Hazard Mapping.

1. INTRODUCTION

Soil liquefaction is one of the most destructive geotechnical phenomena triggered by seismic events, posing a significant threat to civil infrastructure in earthquake-prone regions. For nearly half a century, the cornerstone of liquefaction potential assessment has been the "simplified procedure" developed by Seed and Idriss (1971), which is based on in-situ Standard Penetration Test (SPT) data. This foundational work, along with subsequent critical updates by researchers such as Youd et al. (2001) and Idriss & Boulanger (2014), established an empirical framework correlating SPT blow counts (N-values) with cyclic stress ratios to estimate liquefaction susceptibility.

However, these classical empirical methods inherently rely on simplified assumptions and reduction coefficients to account for the complex, multi-parameter nature of field conditions. This reliance often introduces significant uncertainties, particularly in geologically heterogeneous areas where soil properties can vary dramatically. The rigid structure of empirical formulas struggles to capture the non-linear relationships between variables like fines content, groundwater level, seismic magnitude, and peak ground acceleration (PGA). This limitation has spurred a paradigm shift towards data-driven approaches.

Beginning in the early 2000s, researchers began applying Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques to overcome the limitations of empirical models. Studies by Juang and Jiang (2000) using Artificial Neural Networks (ANN) demonstrated significantly improved statistical accuracy. Subsequent research, such as the work by Cetin et al. (2004) employing Bayesian methods and more recent studies by Kayen et al. (2020) using Random Forests (RF), has consistently shown that ML models can reduce predictive uncertainty and provide more reliable assessments.

Despite these advancements, a significant gap remains between the technical capabilities of these advanced models and their practical application by field engineers. Most existing AI-based tools require specialized knowledge of data science and programming. This study addresses this gap by proposing a novel, integrated framework that not only develops high-accuracy ML models but also embeds them within a user-friendly ecosystem. The core objective is to integrate these models with a Large Language Model (LLM) through a Model Context Protocol (MCP) architecture. This will create an intuitive, natural language interface, allowing engineers to perform complex liquefaction analyses without needing to write code or manipulate complex formulas. By combining a robust SPT database from Turkey with state-of-the-art ML, LLM integration, and automated GIS-based hazard mapping, this research aims to deliver a holistic solution that is both technically superior and practically accessible.

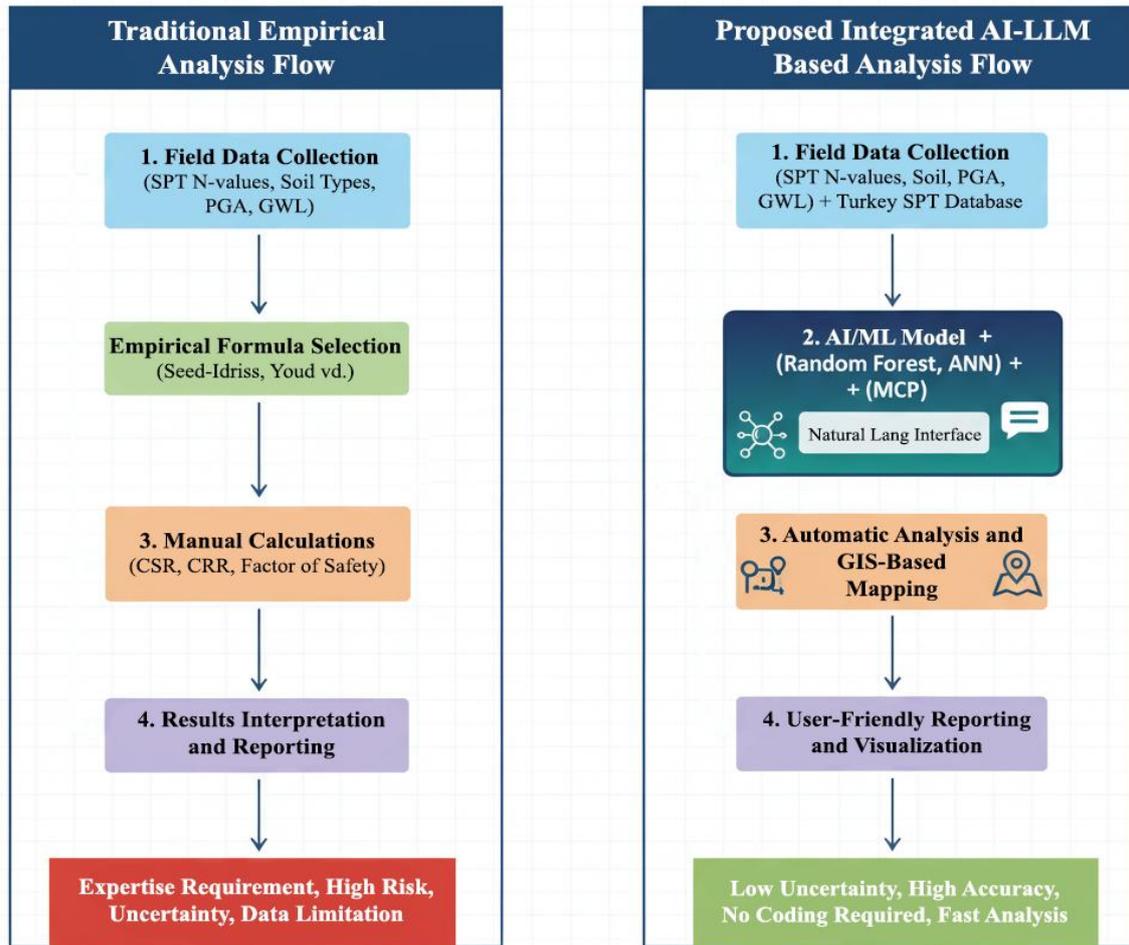


Figure 1. Conceptual workflow comparison between the traditional empirical method (A) and the proposed AI-LLM integrated framework (B).

2. METHODOLOGY AND FRAMEWORK

The methodological flow of this study is structured into four interconnected phases: (i) Data Collection and Pre-processing, (ii) Machine Learning Model Development, (iii) LLM–MCP Integration for a Natural Language Interface, and (iv) GIS-Based Regional Hazard Mapping.

2.1. Data Collection and Pre-processing

The foundation of any data-driven model is a comprehensive and high-quality dataset. For this study, a multi-parameter SPT database will be compiled from geotechnical investigation reports across 15 distinct locations chosen from high, moderate, and low seismic zones in Turkey. Each data record will include the primary parameters governing liquefaction behavior.

To ensure data integrity, a rigorous pre-processing pipeline will be implemented. Missing values, a common issue in geotechnical datasets, will be handled using Multiple Imputation by Chained Equations (MICE), a robust statistical technique that generates multiple plausible

values to account for uncertainty. Subsequently, all features will be scaled using z-score normalization to prevent variables with larger magnitudes from disproportionately influencing the model training process. The inherent uncertainty of each measurement will be preserved as metadata for advanced sensitivity analyses.

2.2. Machine Learning Model Development

This phase focuses on training, validating, and optimizing a suite of ML algorithms to create a robust predictive engine. Three primary algorithms have been selected for this purpose: Artificial Neural Networks (ANN), known for their ability to model complex non-linear relationships; Support Vector Machines (SVM), effective in high-dimensional spaces; and Random Forests (RF), an ensemble method that provides high accuracy and resistance to overfitting.

The development process will involve intensive hyperparameter optimization to fine-tune the architecture of each model. This will be achieved using a combination of Grid Search and Bayesian Optimization (specifically, the Tree-structured Parzen Estimator algorithm). To ensure the models' generalizability and prevent bias, their performance will be rigorously evaluated using a 10-fold cross-validation strategy. Key performance metrics will include the Area Under the Curve (AUC-ROC), Cohen's Kappa score for classification consistency, and the Brier Score to measure the accuracy of probabilistic predictions. Furthermore, model interpretability will be addressed using SHAP (SHapley Additive exPlanations), a technique that provides clear insights into which features most significantly influence the model's predictions.

2.3. LLM-MCP Integration for a Natural Language Interface

The most innovative component of this research is the integration of the trained ML models with a natural language interface. This is achieved through a Model Context Protocol (MCP) architecture, which acts as an intelligent intermediary between the user and the backend AI models. The system is designed to allow a field engineer to input site conditions using simple, conversational text.

For instance, a user query like: *"PGA=0.35g, N₆₀=15, fines content is 20%, and water level is at 5 meters"* is first processed by an LLM. The LLM interprets this input and, guided by the MCP, structures it into a machine-readable JSON format. This structured data packet is then automatically routed to the appropriate ML model microservice (developed in Python using libraries like Scikit-learn and TensorFlow) for liquefaction prediction. The model's output (e.g., a probability score) is sent back through the MCP, which then presents the result to the user in a clear, understandable format. This workflow completely abstracts the underlying complexity, providing a seamless and powerful analytical tool.

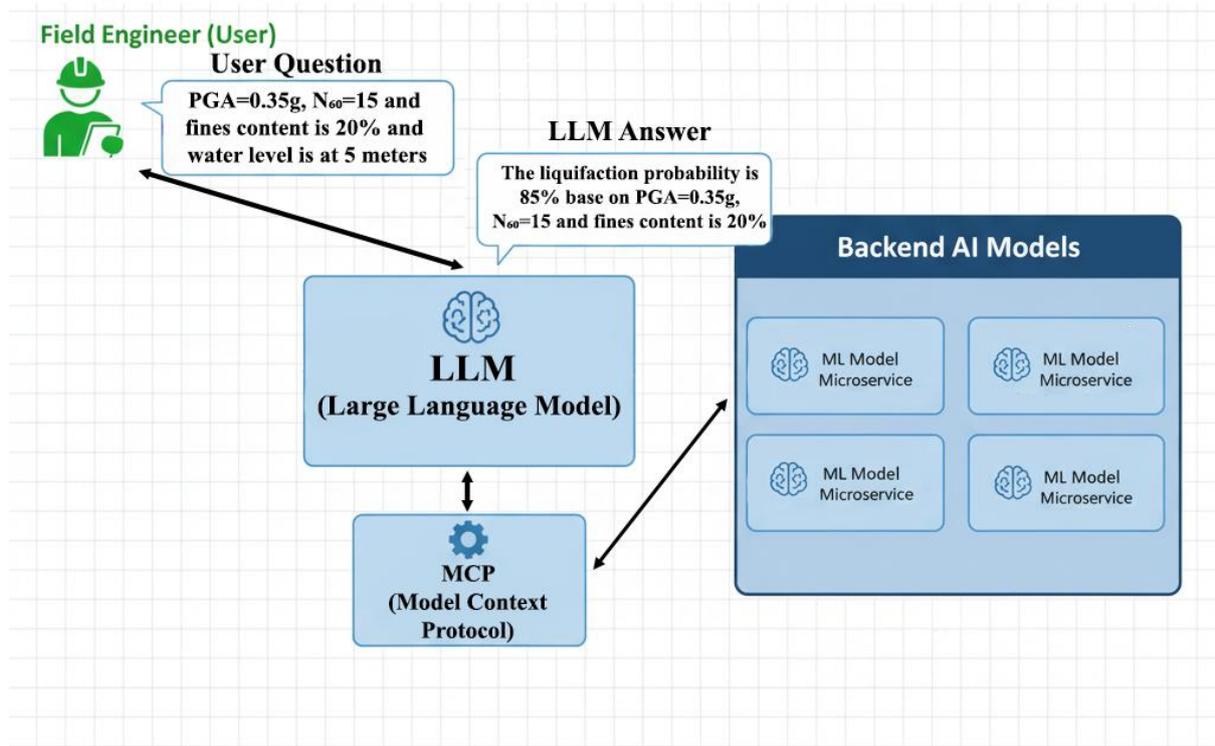


Figure 2. System architecture diagram illustrating the interaction between the User, LLM, MCP, and backend Machine Learning models.

2.4. GIS-Based Hazard Mapping

The final phase translates the point-based predictions from the AI models into regional liquefaction hazard maps. This integration will be accomplished using ArcGIS Pro in conjunction with Python's GeoPandas library. The model outputs for numerous data points across a selected region will be spatially interpolated to create continuous probability surfaces. These surfaces will be visualized as grid-based maps (e.g., 500m x 500m cell size), providing an intuitive and powerful tool for urban planners and disaster management agencies to identify high-risk zones.

3. EXPECTED RESULTS AND EVALUATION

The primary hypothesis of this study is that the proposed integrated AI framework will yield liquefaction predictions that are statistically superior to those derived from traditional empirical methods. It is expected that the developed ANN, SVM, and RF models will achieve higher AUC scores and lower Brier scores, indicating a more accurate and reliable classification of liquefaction potential.

A key expected outcome is the successful implementation of the LLM-MCP interface, which will significantly lower the technical barrier for performing advanced geotechnical analyses. By enabling engineers to use natural language, the system is expected to democratize access to sophisticated predictive modeling, thereby accelerating on-site decision-making processes.

Finally, the automatically generated GIS-based hazard maps are anticipated to provide a more detailed and accurate representation of regional liquefaction risk compared to existing maps based on empirical formulas. To validate this, the AI-generated maps will be systematically compared against maps created using the Seed-Idriss (1971) and Youd et al. (2001) methods. This comparative evaluation will involve both point-wise statistical tests (e.g., χ^2 test) and spatial analysis to quantify the differences and demonstrate the enhanced utility of the data-driven approach for risk assessment and mitigation planning.

4. CONCLUSION

This study proposes a holistic and innovative framework to advance the prediction of soil liquefaction potential. By moving beyond the limitations of traditional empirical methods, this research leverages the predictive power of machine learning, the accessibility of large language models, and the spatial analytical capabilities of GIS.

The original value of this work is threefold. First, it introduces the Model Context Protocol (MCP) architecture to the field of geotechnical engineering for the first time, creating a seamless bridge between complex AI models and the practical needs of end-users. Second, it will produce a comprehensive, open-access SPT database for a seismically active region (Turkey), serving as a valuable resource for the global research community. Third, by automating the generation of dynamic hazard maps, it provides a powerful decision-support tool for real-time disaster management and sustainable urban development.

In conclusion, this integrated approach represents a new paradigm for liquefaction assessment—one that shifts from static, coefficient-based calculations to a dynamic, data-driven, and democratized system. It aims not only to improve the technical accuracy of predictions but also to fundamentally enhance their practical applicability, ultimately contributing to the design of safer and more resilient infrastructure.

REFERENCES

- [1] Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97(9), 1249-1273.
- [2] Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., ... & Stokoe, K. H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10), 817-833.
- [3] Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2014). *Soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- [4] Juang, C. H., & Jiang, T. (2000). A neural network approach to the evaluation of soil liquefaction potential. *Proceedings of the Geo-Denver 2000 Conference*, Denver, Colorado.
- [5] Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314-1340.
- [6] Kayen, R., Cvijanovic, I., & Carkaxhiu, A. (2020). Global Liquefaction Database and Random Forest Prediction of Liquefaction. *Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Rome, Italy.
- [7] Ghorbani, A., Ghorbani, S., & Shamshirband, S. (2021). An intelligent model based on SVM and RF for liquefaction potential assessment. *Engineering with Computers*, 37(1), 235-247.
- [8] Ansal, A., Siyahi, B., & Gülerce, U. (2009). A new attenuation relationship for the Marmara region, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(1), 163-176.

OPTIMIZATION OF SOIL PARAMETERS TO MAXIMIZE THE BEARING CAPACITY OF CLAY SOILS USING THE TAGUCHI METHOD

AYŞE BENGÜ SÜNBÜL GÜNER

Düzce University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Düzce, Türkiye.

ORCID Code: 0000-0002-3131-7997

e-mail: bengusunbulguner@duzce.edu.tr

ERCAN ÖZGAN

Düzce Uni., Art Design&Architecture Faculty, Architecture Department, Düzce, Türkiye

ORCID Code: 0000-0003-4531-6394

e-mail: ercanozgan@duzce.edu.tr,

ABSTRACT

Soil bearing capacity is one of the most important parameters determining the collapse of structures. In soils with weak bearing capacity, it is impossible to shorten excavation depths, construct multi-story structures, select economical foundation types, and ensure the safety of life and property throughout the structure's service life. In soils with high bearing capacity, constructing multi-story structures, selecting economical foundation types, shortening excavation depths, and reducing foundation and excavation costs will provide benefits such as reducing foundation and excavation costs. Soil bearing capacity is a value that increases or decreases depending on various soil parameters. The most important parameters affecting bearing capacity can be expressed as excavation depth, groundwater level, unit weight, water content, the proportion of soil passing through 10 and 200 sieves, the angle of internal friction, and the cohesion coefficient. In this study, the physical and engineering properties of clay soil samples taken from boreholes drilled in Düzce province were investigated. The bearing capacities of the examined soils ranged from 1.96 to 5.67 g/cm². The physical and engineering properties of these soils were determined through field and laboratory tests, and the test results were tabulated. The difference between the minimum and maximum bearing capacities of the soils was found to be approximately 2.89 times. The optimum soil parameters explaining the 2.89-fold difference in the bearing capacity of the clay soils were determined using the Taguchi method, and the optimum physical and engineering properties of the clay soil to achieve maximum bearing capacity were determined. Based on these data, the physical and engineering properties required to increase the bearing capacity of the clay soils were determined.

Keywords: Clay Soil, Bearing capacity, Soil parameters, Optimization, Taguchi method.

TAGUCHI YÖNTEMİ KULLANILARAK KİLLİ ZEMİNLERİN TAŞIMA KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN ZEMİN PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Zemin taşıma gücü, yapıların göçmesini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Taşıma gücü zayıf zeminlerde kazı derinliklerini kısaltmak, çok katlı yapı inşa etmek, ekonomik temel tipi seçmek ve yapının servis ömrü boyunca can ve mal güvenliğini sağlamak mümkün değildir. Taşıma gücü yüksek zeminlerde ise çok katlı yapı inşa etmek, ekonomik temel tipi seçmek, kazı derinliklerini kısaltmak, temel ve kazı maliyetlerini düşürmek temel ve kazı maliyetlerinin azaltılması gibi yararlar sağlayacaktır. Zemin taşıma gücü çeşitli zemin parametrelerine bağlı olarak artan veya azalan bir değerdir. Taşıma gücünü etkileyen en önemli parametreler kazı derinliği, yeraltı su seviyesi, birim hacim ağırlığı, su içeriği, 10 ve 200 elekten geçen zemin oranı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon katsayısı olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada, Düzce ilinde açılan sondaj kuyularından alınan kil zemin numunelerinin fiziksel ve mühendislik özellikleri incelenmiştir. İncelenen zeminlerin taşıma güçleri 1,96 ile 5,67 gr/cm² arasında değişmektedir. Bu zeminlerin fiziksel ve mühendislik özellikleri, arazi ve laboratuvar testleri ile belirlenmiş ve test sonuçları çizelge haline getirilmiştir. Zeminlerin minimum ve maksimum taşıma kapasiteleri arasındaki farkın yaklaşık 2,89 kat olduğu bulunmuştur. Kil zeminlerin taşıma kapasitesindeki 2,89 katlık farkı açıklayan optimum zemin parametreleri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve maksimum taşıma kapasitesine ulaşmak için kil zeminin optimum fiziksel ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak, kil zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak için gereken fiziksel ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kil zemin, Taşıma gücü, Zemin parametreleri, Optimizasyon, Taguchi Yöntemi.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnşaat mühendisliğinde geoteknik tasarım süreci, yapı temellerinin oturacağı zeminin mühendislik özelliklerinin ayrıntılı olarak tanımlanması ve bu doğrultuda temsil kabiliyeti yüksek karakteristik bir zemin profilinin oluşturulması ile başlamaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen arazi kökenli yerinde deneyler (in-situ testler) ve laboratuvar ortamında uygulanan zemin mekaniği deneyleri, zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışının ve taşıma kapasitesinin güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi açısından vazgeçilmez nitelikte veri sağlamaktadır. Söz konusu deneysel bulgular, geoteknik tasarım sürecinin bilimsel geçerliliğini, mühendislik güvenilirliğini ve uygulama doğruluğunu doğrudan belirleyen temel girdiler olarak kabul edilmektedir.

Yapı temelleri, üstyapıdan aktarılan yükleri zemine ileten ve zeminle doğrudan temas halinde bulunan taşıyıcı elemanlardır. Temel tasarımında dikkate alınması gereken iki temel ilke bulunmaktadır: Taşıma Gücü Güvenliği; temelin, üstyapıdan gelen yükleri zemine güvenli bir biçimde aktarabilmesi, oturmaların kontrolü; zemin deformasyonlarının (özellikle oturmaların) kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması. (Terzaghi, Peck ve Mesri, 1996).

Yük aktarımı sürecinde zemin tabakalarında sıkışma meydana gelebilmekte ve bu durum, zeminde aşırı gerilme oluşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle temel tasarımında, zemin üzerinde kritik gerilme koşullarının oluşmasını engelleyecek yaklaşımlar benimsenmeli; taşıma gücü hesapları, olası göçme mekanizmaları dikkate alınarak ve statik denge analizleri çerçevesinde gerçekleştirilmelidir (Kaliakin, 2017; Das, 2010). Zeminin kayma mukavemeti parametreleri (kohezyon, içsel sürtünme açısı), temelin göçmeye karşı dayanımını belirleyen en kritik parametreler arasında yer almakta olup, hem taşıma gücü analizlerinde hem de zemin-deformasyon ilişkilerinin değerlendirilmesinde esas alınmaktadır.

Temelden zemine aktarılan yükler sonucu oluşan kayma gerilmelerinin, zeminin kayma mukavemetini aşması halinde taşıma gücü göçmesi meydana gelmektedir (Uzuner, 2007). Bu bağlamda, zeminin basınç ve kayma mukavemeti özelliklerinin doğru biçimde belirlenmesi ve değerlendirilmesi, yalnızca temel sisteminin değil, aynı zamanda üzerinde inşa edilen yapının bütünsel stabilitesi ve güvenliği açısından da kritik bir önem taşımaktadır (Bowles & Guo, 1996). Kayma mukavemeti, bir zemin kütlelerinin göçme gerçekleşmeden önce dayanabileceği en yüksek kayma gerilmesi düzeyini tanımlamaktadır.

Kohezyonsuz zeminlerde kayma mukavemeti esas itibarıyla içsel sürtünme açısı ile daneler arası kilitlemeye bağlıdır; çünkü bu tür zeminlerde kohezyon ihmal edilebilir düzeyde olup ($c \approx 0$), taşıma gücü hesaplamalarına anlamlı bir katkı sağlamamaktadır. Buna karşılık, kohezyonlu zeminlerde uygulanan yükler altında zemin tabakaları hem ani deformasyonlara hem de zamana bağlı konsolidasyon süreçlerine maruz kalmakta, bu durum ise kademeli oturmalara ve yapısal yer değiştirmelere yol açmaktadır (Meyerhof, 1974; Terzaghi & Peck, 1967; Coduto, 2000). Kumlu ve çakıllı zeminlerde ise sıkışabilirlik genellikle oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte, bu zeminlerde güvenilir konsolidasyon deneyleri yapabilmek için gerekli örselenmemiş numunelerin elde edilmesi pratikte neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, söz konusu zeminlerin sıkışabilirlik özellikleri genellikle ampirik bağıntılar ya da yerinde (in-situ) deneylerle belirlenmektedir. Laboratuvar deneyleri yerine, bu tür zeminlerde tahmini sıkışma (Cc) veya yeniden sıkışma (Cr) katsayıları kullanılarak hesaplamaların yapılması uygun görülmektedir (Lambe & Whitman, 2008).

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde genellikle arazi deneylerine başvurulmaktadır. Ülkemizde en yaygın ve ekonomik olarak uygulama alanı bulan arazi deneyi, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) olup, emniyetli taşıma gücünün tahmini açısından önemli bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Meyerhof (1974) tarafından geliştirilen bağıntılar, SPT sonuçlarına dayalı olarak temellerin en fazla 25 mm (2.5 cm) oturmasına karşılık gelen emniyetli taşıma gücü değerlerinin hesaplanmasında yaygın biçimde kullanılmaktadır (Çinicioğlu, 2005; Terzaghi & Peck, 1967; Coduto, 2000).

Bununla birlikte, zeminlerin sınıflandırılması ve mühendislik davranışlarının değerlendirilmesi amacıyla laboratuvar deneyleri de zorunlu bir aşamayı oluşturmaktadır. TS1900 ve TS1500 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen deneyler, zeminlerin tanımlanmasına ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesine imkân tanımaktadır. Bu deneysel bulgular, belirli bir

bölgenin zemin özelliklerini özetleyecek şekilde düzenlenmekte ve geoteknik raporlar aracılığıyla sunulmaktadır.

Zeminin taşıma gücü ve temel tipine bağlı olarak farklı araştırmacılar tarafından çeşitli teorik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında Terzaghi (1943), sığ temellerin taşıma gücünü belirlemek amacıyla Prandtl'in (1921) plastiklik teorisine dayalı olarak genel bir kuram ortaya koymuştur. Terzaghi'nin denklemi yalnızca şerit temeller ve genel göçme durumu için geçerli olmakla birlikte, sonraki araştırmacılar bu kuram üzerinde çeşitli düzeltmeler yaparak yüklemeye eksantrikliği, yük eğimi ve benzeri etkileri de dikkate alan daha genel formülasyonlar geliştirmiştir (Coduto, 2000). Buna göre;

$$Q_{\text{son}} = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

D_f : temel gömme derinliği

B : temel genişliği

γ : birim hacim ağırlık

c : kohezyon

N_c, N_q, N_γ : sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları (ϕ)

S_c, S_q, S_γ : şekil faktörleri

d_c, d_q, d_γ : derinlik faktörleri

i_c, i_q, i_γ : yük eğim faktörleri

Zeminlerin taşıma kapasitesi, hem laboratuvar deneyleri hem de sayısal modelleme teknikleri aracılığıyla kapsamlı bir biçimde incelenmektedir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular, taşıma kapasitesinin başlıca olarak tane boyutu dağılımı, zemin yoğunluğu ve zemin matrisindeki ince tanelerin oranı gibi parametrelerden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur. Özellikle, ince taneli fraksiyon oranındaki artışın taşıma kapasitesini olumsuz yönde etkilediği belirlenirken; uygun sıkıştırma koşulları ve optimum su muhtevasının zeminin kayma dayanımını artırdığı görülmüştür.

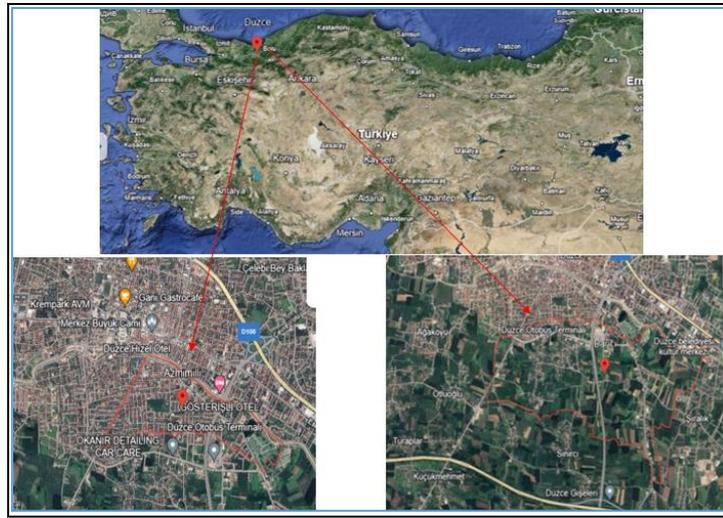
Bu kapsamda yürütülen mevcut çalışmada, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Düzce ili zeminlerinin geoteknik özellikleri, hem arazi deneyleri hem de laboratuvar analizleri yoluyla araştırılmıştır (Güner & Özgan, 2025). Araştırma kapsamında farklı derinliklerde açılan için 55 adet zemin etütü sondaj kuyusundan veri toplanmış ve bu veriler, zeminlerin taşıma gücü davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Laboratuvar incelemeleri kapsamında ise kazı derinliği, yeraltı su seviyesi, birim hacim ağırlığı, doğal su içeriği, tane boyutu dağılımı (No.10 ve No.200 eleklerinden geçen fraksiyonlar), içsel sürtünme açısı ve kohezyon parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada arazi ve laboratuvar deney sonuçları ile elde edilen zemin özellikleri ile zeminin taşıma gücü arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Zeminin taşıma gücünü etkileyen zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin belirlenebilmesi amacı ile Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi ile zeminin taşıma gücünü maksimum yapan optimum zemin parametreleri ve bu parametrelerin önem sıraları tespit edilmiş. Taşıma gücünü maksimum yapan zemin

parametrelerinin optimum katsayıları da belirlenerek her bir zemin parametresi için çizelge halinde gösterilmiştir. Taşıma gücünü etkileyen ve maksimum taşıma gücünü sağlayan zemin parametrelerinin etkileri, öncelik sıraları ve optimum değerleri tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

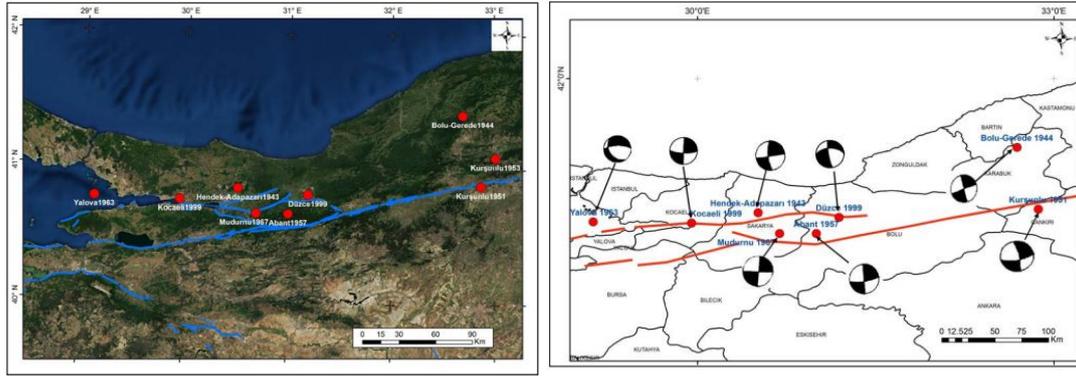
2. MATERYAL METHOD (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma alanı olan Düzce Havzası, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, yer almaktadır (Emre vd., MTA; Varol vd., A.Ü., 1999). İnceleme alanında jeolojik biriminin Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazesi (Qal) olduğu belirlenmiştir. Bu alüvyal istif, kil, silt, kum ve çakıl aralanmalarından oluşmakta olup, eski nehir ve göl ortamlarının varlığına işaret etmektedir. Çalışma alanının kuzeyi ve kuzeybatısında eğimin belirgin şekilde arttığı kesimler ise Çaycuma Formasyonu (Teç) olarak tanımlanmıştır.



Görsel 1. İnceleme alanı konumu.

Düzce Havzası'nda sedimanter istif kalınlığı, geçmiş yıllarda gerçekleştirilen sondaj verileri ile desteklenen jeofizik çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda yaklaşık 260 m olarak belirlenmiştir (Erdik, 2001). Düzce ve Bolu bölgesi sismik olarak oldukça aktiftir. Düzce kent merkezinin 100 km doğu ve batısında Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde tarihsel ve aletsel dönemde birçok deprem olmuştur (MTA,1999). Düzce havzasına en yakın konumlu olan ve deprem potansiyeli taşıyan faylar Düzce, Hendek ve Çilimli faylarıdır. Bu faylardan Düzce ve Hendek fayları aktif fay karakterindedir. Çilimli fayı ise olası aktif bir faydır (Emre vd., 1999).



Görsel 2. Düzce–Bolu jeolojisi ve aktif fayları üzerinde gerçekleşen yıkıcı depremler. (Şaroğlu et al., 1992)

Çalışma alanında meydana gelen önemli depremler, en güncel olandan başlayarak kronolojik sırayla belgelenmiştir. 1999 Düzce Depremi (Mw 7.2), 1999 Kocaeli Depremi (Mw 7.4), 1967 Mudurnu Depremi (Ms 7.1) ve 1957 Bolu-Abant Depremi (Ms 7.0), 1944 Bolu-Gerede ve 1943 Hendek depremleri. Bu depremler, yüzeyde belirgin kırıklar oluşturmuş, söz konusu kırıklar ayrıntılı olarak incelenmiş ve aktif fay segmentlerinin belirlenmesi amacıyla haritalanmıştır (Şaroğlu et al., 1992).

3. İNCELENEN KİLLİ ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜ MAKSİMUM YAPAN ZEMİN PARAMETRELERİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Bu çalışmada incelenen killi zeminler CL ve CH zemin tipi olarak iki ayrı grupta incelenmiştir. Bu zeminlerde, yeraltı su seviyesi, birim hacim ağırlık, su muhtevası, 10 ve 200 nolu elekten geçen zemin miktarları, likit limit, plastik limit, içsel sürtünme açısı ve kohezyon katsayısına bağlı olarak CL ve CH zemin tiplerinde maksimum taşıma gücünü sağlayabilecek en iyi deney sonuçlarının belirlenebilmesi amacı ile Taguchi yöntemi kullanılmıştır.

Taguchi yöntemi farklı deney düzenekleri ile elde edilen deney sonuçlarının maksimum, minimum, ortalama vb değerlerini elde edebilmek için optimum deney verilerinin belirlenmesi için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu çalışmada, deney verileri beş ayrı deney seviyesinde sekiz faktörlü olarak planlanmış ve bu şartlarda oluşturulan zemin verilerine bağlı olarak zeminin taşıma gücünü maksimum yapan optimum zemin parametrelerinin hem CL hem de CH zemin tipleri için belirlenmiştir.

3.1 CL Tipi Kil Zeminin Analizi

CL tipi zeminde taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin analizi için 55 adet zemin etüt değeri kullanılmıştır. İncelenen zemin numunelerinin taşıma gücü ve diğer zemin parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. CL zemin numunelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri

Tanımlayıcı İstatistikler							
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Taşıma gücü (kgf/cm ²)	55	3,71	1,96	5,67	3,1947	,78281	,613
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	55	,60	1,43	2,03	1,7912	,15344	,024
Su muhtevası (%)	55	63,18	5,46	68,64	21,8984	9,42917	88,909
No200 passing (%)	55	80,00	18,00	98,00	73,4881	19,60561	384,380
Likit limit (%)	55	31,00	18,00	49,00	41,0037	6,25375	39,109
Plastik limit (%)	55	16,00	8,00	24,00	18,9855	3,24893	10,556
İçsel sürtünme açısı (ø)	55	9,60	1,00	10,60	5,3336	2,72672	7,435
Kohezyon (MPa)	55	52,39	20,37	72,76	46,9680	13,23200	175,086

Yukarıda tanımlanan zemin parametreleri taşıma gücünü etkileme düzeyleri açısından 6 faktörlü ve 5 seviyeli deney setlerine dönüştürülmüş ve zemin parametreleri 6 faktör ve 5 seviye için çizelge haline getirilmiştir.

Taguchi yöntemi ile zeminin taşıma gücünün maksimum yapılabilmesi için CL tipi killi zemine ait parametrelerin her biri için bu düzenek şartları dikkate alınarak analiz yapılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. CL zemin parametreleri ve düzeyleri

CL Tipi Zemin Parametreleri					
1. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Düzye	2. Su Muhtevası (%)	Düzye	3. 200 No Geçen (%)	Düzye
1.43≤X<1.55	1	5.46≤X<18.1	1	18.0≤X<34.0	1
1.55≤X<1.67	2	18.1≤X<30.74	2	34.0≤X<50.0	2
1.67≤X<1.79	3	30.74≤X<43.38	3	50.0≤X<66.0	3
1.79≤X<1.91	4	43.38≤X<56.02	4	66.0≤X<82.0	4
1.91≤X<2.03	5	56.02≤X<68.64	5	82.0≤X<98.0	5
4. Plastisite İndisi	Düzye	5. İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Düzye	6. Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Düzye
17.0≤X<19.0	1	1.00≤X<2.92	1	20.37≤X<30.85	1
19≤X<21.0	2	2.92≤X<4.84	2	30.85≤X<41.33	2
21.0≤X<23.0	3	4.84≤X<6.76	3	41.33≤X<51.81	3
23.0≤X<25.0	4	6.76≤X<8.68	4	51.81≤X<62.29	4
25.0≤X<27.0	5	8.68≤X<10.6	5	62.29≤X<72.76	5

Taguchi yöntemi ile analizde, CL tipi killi zemine ait parametrelerin 5 düzeyli ve 6 faktörlü olarak analizleri yapılmış ve analizler sonucunda bu zeminin taşıma gücünü maksimum yapan tahmin modelinin katsayıları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. CL tipi killi zeminde Taguchi metodu ile elde edilen tahmin modelinin katsayıları

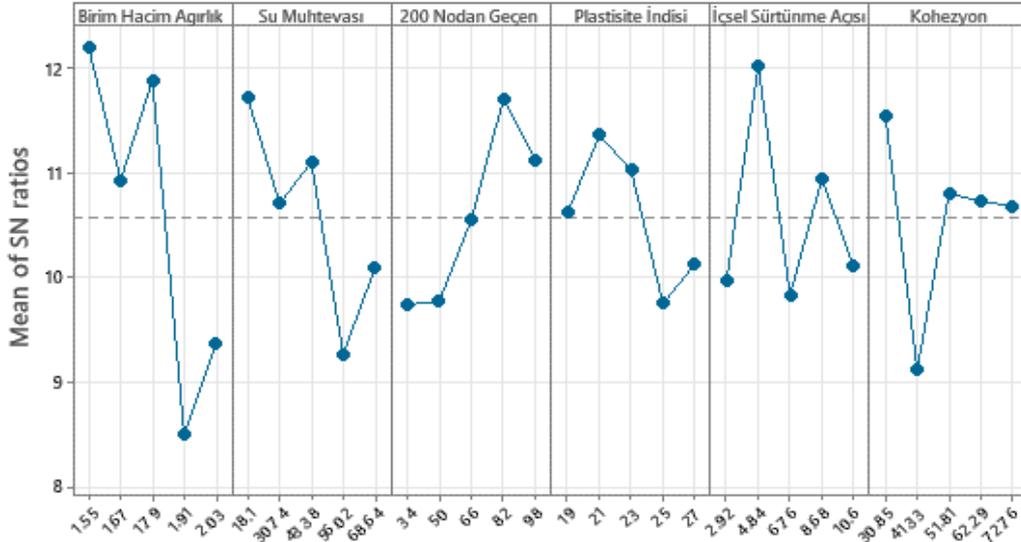
Denklem Sabiti		0,5777			
CL Tipi Zemin Parametreleri					
1. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Katsayı	2. Su Muhtevası (%)	Katsayı	3. 200 No Geçen (%)	Katsayı
1.43≤X<1.67	1,6180	5.46≤X<30.74	1,1417	18.0≤X<50.0	-0,8369
1.67≤X<1.79	0,3544	30.74≤X<43.38	0,1318	50.0≤X<66.0	-0,8068
1.79≤X<1.91	1,3130	43.38≤X<56.02	0,5236	66.0≤X<82.0	-0,0285
1.91≤X<2.03	-2,0850	56.02≤X<68.64	-1,3085	82.0≤X<98.0	1,1340
4. Plastisite İndisi	Katsayı	5. İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Katsayı	5. Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Katsayı
17≤X<21.0	0,0442	1.00≤X<4.84	-0,6035	20.37≤X<41.33	0,9673
21.0≤X<23.0	0,7860	4.84≤X<6.76	1,4499	41.33≤X<51.81	-1,4587
23.0≤X<25.0	0,4489	6.76≤X<8.68	-0,7429	51.81≤X<62.29	0,2320
25.0≤X<27.0	-0,8274	8.68≤X<10.6	0,3659	62.29≤X<72.76	0,1494

Taguchi yöntemi ile CL tipi killi zeminin taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve öncelik sıraları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. CL Tipi Killi zeminin taşıma gücünü etkileyen zemin parametrelerinin etki düzeyleri

Level	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Su Muhtevası %	200 Nodan Geçen Zemin %	Plastisite İndisi	İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Kohezyon (gr/cm ²)
1	12,196	11,719	9,741	10,622	9,974	11,545
2	10,932	10,709	9,771	11,364	12,028	9,119
3	11,891	11,101	10,549	11,027	9,835	10,810
4	8,493	9,269	11,712	9,750	10,944	10,727
5	9,377	10,089	11,116	10,126	10,108	10,688
Delta	3,703	2,450	1,971	1,613	2,193	2,426
Sıra	1	2	5	6	4	3

Çizelgeden görüldüğü üzere taşıma gücünü etkileyen zemin parametrelerinden birim hacim ağırlık ilk sırada, su muhtevası ikinci sırada, kohezyon üçüncü sırada, içsel sürtünme açısı dördüncü sırada, 200 nolu elekten geçen zemin miktarı beşinci sırada ve plastisite indisi altıncı sıra yer almıştır. Taguchi yöntemi ile CL tipi killi zeminin taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve optimum değerleri aşağıda ki şekilde gösterilmiştir (görsel 3).



Görsel 3. CL tipi killi zeminde taşıma gücünü maksimum yapan optimum zemin parametreleri

Grafik incelendiğinde, zemin parametrelerine bağlı olarak CL tipi zeminde maksimum taşıma gücünü sağlayan optimum zemin parametrelerinin sırası ile birinci sırada 1.55 gr/cm³ ile birim hacim ağırlığın, ikinci sırada %18.1 ile su muhtevasının, üçüncü sırada 30,85 gr/cm² ile kohezyon katsayısının, dördüncü sırada 4,84 derece ile içsel sürtünme açısının, beşinci sırada %82 ile 200 nolu elekten geçen zemin miktarının olduğu ve altıncı sırada ise 21 ile Plastisite indisinin olduğu tespit edilmiştir.

3.2 CH Tipi Kil Zeminin Analizi

CH tipi zeminde taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin analizi için 70 adet zemin etüt değeri kullanılmıştır. İncelenen zemin numunelerinin taşıma gücü ve diğer zemin parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. CH zemin numunelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri

Tanımlayıcı istatistikler							
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Taşıma gücü	70	5,09	1,61	6,70	3,3134	,97092	,943
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	70	,63	1,42	2,05	1,8273	,11471	,013
Su muhtevası (%)	70	30,6	9,10	39,70	24,1753	6,25190	39,086
No200 passing %	70	80,0	18,00	98,00	82,8731	14,68066	215,522
Likit limit %	70	40,5	18,00	58,50	52,4379	6,04358	36,525
Plastik limit %	70	15,0	13,00	28,00	22,5385	2,62091	6,869
İçsel sürtünme açısı (ø)	70	10,0	1,00	11,40	5,0221	1,76055	3,100
Kohezyon (MPa)	70	55,78	26,52	82,30	57,1375	10,97775	120,511

Taguchi yöntemi ile analizde, CH tipi killi zemine ait parametrelerin her biri 5 seviyeli (düzeyli) ve 10 faktörlü olarak düzenlenmiş ve bu düzenek şartları dikkate alınarak analiz yapılmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. CH tipi killi zeminin parametreleri ve düzeyleri

CH Tipi Zemin Parametreleri					
1. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Düzyey	2. Su Muhtevası (%)	Düzyey	3. 200 No Geçen (%)	Düzyey
1.42≤X<1.55	1	9.10≤X<15.22	1	18.0≤X<34.0	1
1.55≤X<1.68	2	15.22≤X<21.34	2	34.0≤X<50.0	2
1.68≤X<1.81	3	21.34≤X<27.46	3	50.0≤X<66.0	3
1.81≤X<1.94	4	27.46≤X<33.58	4	66.0≤X<82.0	4
1.94≤X<2.05	5	33.58≤X<39.70	5	82.0≤X<98.0	5
4. Plastisite İndisi	Düzyey	5. İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Düzyey	6. Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Düzyey
18.00≤X<21.98		1.00≤X<3.08	1	26.52≤X<37.68	
21.98≤X<25.96		3.08≤X<5.16	2	37.68≤X<48.84	
25.96≤X<29.94		5.16≤X<7.24	3	48.84≤X<60.00	
29.94≤X<33.92		7.24≤X<9.32	4	60.00≤X<71.16	
33.92≤X<37.90		9.32≤X<11.40	5	71.16≤X<82.32	

Taguchi yöntemi ile analizde, CH türü killi zeminin taşıma gücünü maksimum yapan tahmin modelinin katsayıları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. CH tipi killi zeminde Taguchi metodu ile elde edilen tahmin modelinin katsayıları

Denklem Sabiti	0,66397				
CH Tipi Zemin Parametreleri					
1. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Katsayı	2.Su Muhtevası (%)	Katsayı	3.200 No Geçen (%)	Katsayı
1.55≤X<1.68	-1,90620	15.22≤X<21.34	1,74743	34.0≤X<50.0	-0,33519
1.68≤X<1.81	-1,03304	21.34≤X<27.46	-1,49210	50.0≤X<66.0	0,44382
1.81≤X<1.94	2,04390	27.46≤X<33.58	-0,81609	66.0≤X<82.0	0,50949
1.94≤X<2.05	0,01192	33.58≤X<39.70	1,41742	82.0≤X<98.0	
4. Plastisite İndisi	Katsayı	5.İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Katsayı	6.Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Katsayı
21.98≤X<25.96	0,77961	3.08≤X<5.16	0,80172	37.68≤X<48.84	-1,02327
25.96≤X<29.94	-0,18823	5.16≤X<7.24	-0,17383	48.84≤X<60.00	-1,43191
29.94≤X<33.92	-0,57104	7.24≤X<9.32	-1,36705	60.00≤X<71.16	-0,24598
33.92≤X<37.90	-0,21524	9.32≤X<11.40	0,39423	71.16≤X<82.32	2,60131

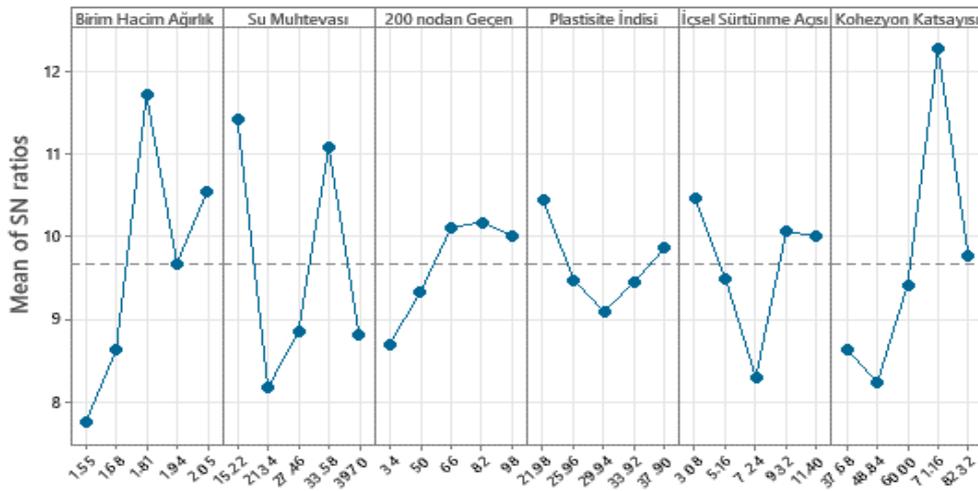
Taguchi yöntemi ile CH tipi killi zeminin taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve öncelik sıraları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. CH Tipi Killi zeminin taşıma gücünü etkileyen zemin parametrelerinin etki düzeyleri

Level	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Su Muhtevası %	200 Nodan Geçen Zemin %	Plastisite İndisi	İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Kohezyon (gr/cm ²)
1	7,758	11,411	8,698	10,444	10,466	8,641
2	8,631	8,172	9,329	9,476	9,490	8,232
3	11,708	8,848	10,108	9,093	8,297	9,418
4	9,676	11,081	10,173	9,449	10,058	12,265
5	10,547	8,807	10,012	9,859	10,009	9,764
Delta	3,950	3,240	1,476	1,351	2,169	4,033
Sıra	2	3	5	6	4	1

Çizelgeden görüldüğü üzere CH tipi killi zeminlerde taşıma gücünü etkileyen zemin parametrelerinden kohezyon katsayısı ilk sırada, birim hacim ağırlık ikinci sırada, su muhtevası üçüncü sırada, içsel sürtünme açısı dördüncü sırada, 200 nolu elekten geçen zemin miktarı beşinci sırada ve plastisite indisi altıncı sıra yer almıştır.

Taguchi yöntemi ile CH tipi killi zeminin taşıma gücünü maksimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve optimum değerleri aşağıda ki şekilde gösterilmiştir.



Görsel 4. CH tipi killi zeminde taşıma gücünü maksimum yapan optimum zemin parametreleri

Grafik incelendiğinde, zemin parametrelerine bağlı olarak CH tipi zeminde maksimum taşıma gücünü sağlayan optimum zemin parametrelerinin sırası ile birinci sırada 71,16 ile kohezyon katsayısı, ikinci sırada 1,81 gr/cm³ ile birim hacim ağırlığın, üçüncü sırada 15,22 ile su muhtevasının, dördüncü sırada 3,08 derece ile içsel sürtünme açısının, beşinci sırada 8,20 ile 200 nolu elekten geçen zeminin miktarının olduğu ve altıncı sırada ise 21,98 ile Plastisite indisinin olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (Conclusions)

Zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arazide ya da laboratuvarlarda yapılan deneysel çalışmalarla ve çeşitli yaklaşımlarla belirlenebilmektedir. Zemin heterojen doğal bir malzeme olduğu aynı arazinin farklı noktalarında bile çok farklı deney sonuçları elde edilebilmektedir. Aynı arazi üzerinde ya da farklı bir arazide yapılan çalışmalarda zeminin taşıma gücü ve diğer özellikleri belirlendiğinde hem taşıma gücünün hem de diğer parametrelerin birbirinden çok farklı olduğu görülebilmektedir. Bu durumda zeminin taşıma gücünü belirleyen diğer parametrelerin aynı zeminin taşıma gücünü bazı durumlarda maksimum yaparken aynı parametrelerin değişmesine bağlı olarak zeminin taşıma gücünün minimum olduğu da görülebilmektedir.

Zeminin parametrelerinde ki değişimler doğal olarak taşıma gücü ve diğer mühendislik özelliklerini de değiştirmektedir. İncelenen killi zeminlerde zeminin taşıma gücünü etkileyen parametreler incelenmiş ve bu parametrelerin hangi değerleri alması durumunda zeminin taşıma gücünün maksimum olabileceği Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. İncelenen CL tipi killi zeminde birim hacim ağırlığının 1,96 ile 5,67 (kgf/cm²) arasında değiştiği, minimum taşıma gücü ile maksimum taşıma gücü arasında yaklaşık 2,89 kat fark olduğu, su muhtevasının %5,46 ile %68,64 arasında değiştiği, 200 nolu elekten geçen zemin miktarının %18 ile %98 arasında değiştiği, içsel sürtünme açısının 1,00 ile 10,60 derece arasında değiştiği, plastisite indisinin 17 ile 27 arasında değiştiği ve kohezyon katsayısının ise 20,37 ile 72,76 arasında değiştiği görülmüştür.

İncelenen CH tipi killi zeminde taşıma gücünün 1,61 ile 6,70 (kgf/cm²) arasında değiştiği, minimum taşıma gücü ile maksimum taşıma gücü arasında yaklaşık 4,16 kat fark olduğu, birim hacim ağırlığının 1,42 ile 2,05 (gr/cm³) arasında değiştiği, su muhtevasının %9,10 ile %39,70 arasında değiştiği, 200 nolu elekten geçen zemin miktarının %18 ile %98 arasında değiştiği, içsel sürtünme açısının 1,00 ile 11,40 derece arasında değiştiği, plastisite indisinin 18 ile 37,90 arasında değiştiği ve kohezyon katsayısının ise 26,52 ile 71,166 arasında değiştiği görülmüştür.

Bu kadar farklı değer aralığına sahip CL ve CH tipi killi zemin parametrelerinin zeminin taşıma gücünü nasıl ve ne düzeyde etkiledikleri her iki zemin tipi için Taguchi yöntemi ile analiz edilmiş ve CL ve CH tipi killi zeminlerde zeminin taşıma gücünü maksimum yapan optimum zemin parametrelerinin öncelik sırasına göre aşağıda ki şekilde olması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma sadece CL ve CH tipi killi zeminler üzerinde yapılmıştır. Benzer çalışmalar kumlu, killi, siltli zeminler üzerinde de yapılarak bu zemin türlerinin de taşıma güçlerini etkileyen ve bu taşıma güçlerini maksimum yapabilecek optimum zemin parametreleri belirlenebilir. Bu çalışma ile hem sahada hem de laboratuvarında CL ve CH tipi zeminlerin taşıma gücü ve diğer parametreler arasında ki ilişkiler belirlenmiştir.

Buna göre,

CL killi zemin tipinde;	CH Killi Zemin tipinde ise;
-------------------------	-----------------------------

<p>Birinci sırada 1.55 gr/cm³ ile birim hacim ağırlığın, İkinci sırada %18,1 ile su muhtevasının, Üçüncü sırada 30,85 gr/cm² ile kohezyon katsayısının, Dördüncü sırada 4,84 derece ile içsel sürtünme açısının, Beşinci sırada %82 ile 200 nolu elekten geçen zemin miktarının olduğu ve Altıncı sırada ise 21 ile Plastisite indisinin olduğu tespit edilmiştir.</p>	<p>Birinci sırada 71,16 ile kohezyon katsayısı, İkinci sırada 1,81 gr/cm³ ile birim hacim ağırlığın, Üçüncü sırada 15,22 ile su muhtevasının, Dördüncü sırada 3,08 derece ile içsel sürtünme açısının, Beşinci sırada %8,20 ile 200 nolu elekten geçen zeminin miktarının olduğu Altıncı sırada ise 21,98 ile Plastisite indisinin olduğu tespit edilmiştir.</p>
--	---

Bu sonuçlar dikkate alınarak hem var olan doğal zeminin taşıma gücünü artırılması hem de doğal olmayan yapay bir şekilde oluşturularak dolgu zemin, temel zemini vb zemin iyileştirme çalışmalarında zeminin taşıma gücünü maksimum yapan bu parametrelere göre karışım dizaynı yapılması durumlarında doğal olmayan dolgu, temel zemini vb zeminlerin taşıma güçlerinin de arttırılabilmesine fayda sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Benzer çalışmaların diğer zemin türleri için de yapılmasının da hem sahada hem de laboratuvar çalışmalarında zeminlerin taşıma güçlerinin var olan parametrelerden en optimum değerlerin seçilmesi ile çok ekonomik bir şekilde sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (References)

- Alkaya, D.; Çobanoğlu, İ. Toprakarme (donatılı zemin) yapılar. *Denizli İMO Bülten-İnceleme Araştırma* **2007**, 54, 29–37.
- Brinch Hansen, J. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. Bulletin of the Danish Geotechnical Institute
- Bowles, J. E., & Guo, Y. (1996). Foundation analysis and design (Vol. 5, p. 127). New York: McGraw-hill.
- Coduto, D.P. *Foundation Design: Principles and Practices*, 2nd ed.; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA, 2000.
- Çinicioğlu, F. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. 2005. Available online:
- Das, M.B. *Principle of Geotechnical Engineering*, 7th ed.; Cengage Learning: Stamford, CT, USA, 2010.
- Emre, Ö. vd. (MTA), Varol, B. vd. (A.Ü.), 1999. 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelemesi. TÜBİTAK (MTA Genel Müdürlüğü ve A.Ü. Ortak Araştırma Projesi).
https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/c81efed973425e1_ek.pdf (accessed on 23 April 2025). Available online: <https://www.harita.gen.tr/81-duzce-haritasi/> (accessed on 23 April 2025).
- Güner, A. B. S., & Özgan, E. (2025). Statistical Analysis of Soil Parameters Affecting the Bearing Capacity and Settlement Behaviour of Gravel Soils. *Applied Sciences*, 15(10), 5271..
- Kaliakin, V. *Soil Mechanics: Calculations, Principles, and Methods*; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2017.
- Kumbasar, V., & Kip, F. (1999). Zemin mekaniği problemleri. Çağlayan Kitabevi.
- Kramer, S.L. *Geotechnical Earthquake Engineering*; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA; 1996; p. 653.

- Kulhawy, F.H.; Mayne, P.W. *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*; EL-6800; Project 1493-6; Electric Power Research Institute (EPRI): Palo Alto, CA, USA, 1990
- Özmen, B. *Düzce-Bolu Bölgesi'nin Jeolojisi, Diri Fayları ve Hasar Yapan Depremleri s:1-14, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu*; Özmen, B., Bağcı, G., Eds.; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi: Ankara, Turkey, 2000.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2008). *Soil mechanics SI version*. John Wiley & Sons..
- Meyerhof, G.G. Ultimate Bearing Capacity of Footings on Sand Layer Overlying Clay. *Can. Geotech. J.* **1974**, *11*, 223–229. <https://doi.org/10.1139/t74-018>.
- Meyerhof, G. G. (1951). The ultimate bearing capacity of foundations. *Geotechnique*. <https://doi.org/10.1680/geot.1951.2.4.301>
- M.T.A, Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U). (1999). “17 ağustos 1999 depremi sonrası düzce (bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelenmesi”, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, Ankara. MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/deprem/pdf/23.11.2022_Duzce_Golyaka.pdf 01.12.2022
- Peck, R.B.; Hanson, W.E.; Thornburn, T.H. *Foundation Engineering*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1974.
- *SPSS Statistics Version 22*; IBM: Armonk, NY, USA, 2020.
- Şaroğlu F., Ö. Emre, İ. Kuşçu (1992). Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müd., Ankara.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., and Şaroğlu, F., 1985, Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Biddle, K. T., and ChristieBlick, N., eds., *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, Special Publication No. 37, p. 227-264.
- Terzaghi, K.; Peck, R.B.; Mesri, G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 1996.
- Terzaghi, K.; Peck, R.B. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1967.
- Uzuner, B. A. (2007). Temel zemin mekaniği. *Derya Kitabevi, Trabzon*.
- Uzundurukan, S. İnce daneli zeminlerin bazı geoteknik özelliklerinin SPT ve DPT verilerine bağlı ampirik ifadeler ile tespitine yönelik bir çalışma. Master's Thesis, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, Türkiye, 2001.
- Vesic, A. S. (1973). ANALYSIS OF ULTIMATE LOADS OF SHALLOW FOUNDATIONS. ASCE J Soil Mech Found Div.

STANDARTLAR Standarts

ASTM D2435 / D2435M – Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading

TS 1900 EN ISO 17892-5 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2-Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü: Ankara, Turkey, 2006, Geoteknik araştırma ve deney Zeminler için laboratuvar deneyleri – Konsolidasyon özelliklerinin tayini

TS 1500:2000; İnşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması. Türk Standartları Enstitüsü: Ankara, Turkey, 2000.

ASTM D4767 – Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils,



ASTM D2850 – Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils,

ASTM D7181 – Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils,

OPTIMIZATION OF SOIL PARAMETERS THAT MINIMIZE THE SETTLEMENT CAPACITY OF CLAY SOILS USING THE TAGUCHI METHOD

AYŞE BENGÜ SÜNBÜL GÜNER

Düzce University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Düzce,
Türkiye.

ORCID Code: [0000-0002-3131-7997](https://orcid.org/0000-0002-3131-7997)

e-mail:

bengusunbulguner@duzce.edu.tr

ERCAN ÖZGAN

Düzce University, Art, Design and Architecture Faculty, Architecture Department,
Düzce, Türkiye

ORCID Code: [0000-0003-4531-6394](https://orcid.org/0000-0003-4531-6394)

e-mail: ercanozgan@duzce.edu.tr,

ABSTRACT

The amount of settlement that occurs in clayey soils is one of the most important parameters determining the collapse of structures. In soils with high settlement rates, it is impossible to select an economical foundation type and ensure the safety of life and property throughout the structure's service life. Furthermore, the resulting settlement can jeopardize the stability of the structure and lead to collapse. The amount of soil settlement varies depending on various soil parameters. The most important parameters affecting settlement include excavation depth, groundwater level, unit weight, water content, the proportion of soil passing through sieves No. 10 and No. 200, the internal friction angle, and the cohesion coefficient. In this study, the physical and engineering properties of CL and CH clayey soil samples taken from boreholes drilled in the Düzce province were examined. The settlement values of the examined soils were found to vary between 0.88 and 5.83 cm. The physical and engineering properties of these soils were determined through field and laboratory tests, and the test results were tabulated. The difference between the minimum and maximum settlement capacities of the soils was found to be approximately 6.62 times. The optimum soil parameters, which provide a 6.62-fold difference in these soils, were determined using the Taguchi method, and the optimum physical and engineering properties of the clayey soil were determined to achieve minimum settlement capacity. Based on these data, the physical and engineering properties of clayey soils that can reduce the amount of settlement were determined.

Keywords: Clay Soil, Settlement capacity, Soil parameters, Optimization, Taguchi method.

TAGUCHI YÖNTEMİ KULLANILARAK KİLLİ ZEMİNLERİN MİNİMUM OTURMA KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN ZEMİN PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Killi zeminlerde meydana gelen oturma miktarı, yapıların göçmesini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Yüksek oturma oranına sahip zeminlerde, ekonomik bir temel tipi seçmek ve yapının hizmet ömrü boyunca can ve mal güvenliğini sağlamak olanaksızdır. Ayrıca, ortaya çıkan oturma, yapının stabilitesini tehlikeye atarak göçmeye yol açabilir. Zemin oturma miktarı çeşitli zemin parametrelerine bağlı olarak değişir. Oturmayı etkileyen en önemli parametreler arasında kazı derinliği, yeraltı su seviyesi, birim hacim ağırlığı, su içeriği, 10 ve 200 nolu eleklerden geçen zemin oranı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon katsayısı yer alır. Bu çalışmada, Düzce ilinde açılan sondajlardan alınan CL ve CH killi zemin örneklerinin fiziksel ve mühendislik özellikleri incelenmiştir. İncelenen zeminlerin oturma değerlerinin 0,88 ile 5,83 cm arasında değiştiği görülmüştür. Bu zeminlerin fiziksel ve mühendislik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş ve deney sonuçları tablo haline getirilmiştir. Zeminlerin minimum ve minimum oturma kapasiteleri arasındaki farkın yaklaşık 6,62 kat olduğu bulunmuştur. Bu zeminlerde 6,62 kat fark sağlayan optimum zemin parametreleri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve minimum oturma kapasitesine ulaşmak için killi zeminin optimum fiziksel ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak, oturma miktarını azaltabilecek killi zeminlerin fiziksel ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kil zemin, Oturma kapasitesi, Zemin parametreleri, Optimizasyon, Taguchi Yöntemi.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı temelleri, üst yapıdan gelen yükleri zemine ileten ve zeminle doğrudan temas halinde olan yapı elemanıdır. Yapı temeli tasarımında dikkat edilmesi gereken iki ana ilkedden biri; temelin üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilmesi, diğeri ise zemin oturmalarının kabul edilebilir sınırlar içinde kalması olarak sıralanabilir (Terzaghi, Peck ve Mesri, 1996). Bu yük aktarımı, zemin tabakalarında sıkışmaya neden olabilir. Bu nedenle temel, zemin üzerinde aşırı gerilmelere yol açmayacak şekilde tasarlanmalı; taşıma gücü hesabı, göçme mekanizmaları dikkate alınarak ve statik denge analizleriyle tasarlanmalıdır (Kaliakin, 2017; Das, 2010).

Kohezyonlu zeminlerde uygulanan yükler altında zemin tabakaları, hem ani deformasyona hem de zamana bağlı konsolidasyon oturması süreçlerine maruz kalarak kademeli oturma ve yapısal oturmalara neden olur (Uzuner, 2007). Kohezyonlu zeminde meydana gelen oturmalar ani oturma (p_i), konsolidasyon oturması (birincil konsolidasyon oturması) (p_c), ikincil konsolidasyon oturması (plastik oturma) olarak üç sınıfa ayrılabilir. Toplam oturma; zeminde yüklemeye bağlı olarak ani oturma, konsolidasyon oturması ve ikincil konsolidasyon oturmasının toplamı şeklinde ifade edilir. Ani oturma, zeminlere yük uygulanır uygulanmaz, su muhtevasında değişiklik olmaksızın meydana gelen elastik deformasyonlardır (Bowles & Guo, 1996).

Konsolidasyon oturması, gerilme artışı sonucunda artan boşluk suyu basıncının sönümlenmesi sonucu zemin danelerinin yer değiştirmesi ile oluşan oturmalaradır. Kohezyonlu zeminlerde zeminin düşük permeabilitesinden dolayı bu suyun tabakanın dışına çıkması uzun zaman alır. Bu nedenle konsolidasyon oturması permeabilite katsayıları küçük olan killi ve siltli zeminler için söz konusudur. Büyük permeabiliteye sahip olan kohezyonsuz zeminlerde, suyun dışarı atılması kısa sürede gerçekleştiği için ani oturma ve konsolidasyon oturması birbirinden ayrılamaz. İkincil oturmalar ise, killi zeminlerde sabit efektif basınç altında, ek boşluk suyu basıncının tamamen sönümlenmesine rağmen devam eden ve ikincil konsolidasyondan doğan oturmalaradır. (Lambe & Whitman, 2008).

Konsolidasyon, özellikle temel alanlarında, yapılara uygulanan yüklerden kaynaklanan gelecekteki oturmayı tahmin etmek/değerlendirmek için büyük bir önem taşımaktadır. Özellikle yüksek plastik yumuşak killer, yüksek su içeriği ve sıkıştırılabilirliği, düşük geçirgenliği ve düşük mukavemeti ile büyük problemler oluşturmaktadırlar. İnce daneli sıkışabilir zemin üzerine kurulan bir yapının oturma davranışları genellikle Terzaghi'nin bir boyutlu konsolidasyon teorisi ile analiz edilir. Terzaghi 1925 yılında suya doymun ince daneli zeminlerin zamana bağlı oturma problemlerini sayısal çözümlerle yapabilmek için bir konsolidasyon teorisi sunmuştur. Konsolidasyon sürecinin termodinamik analogunu kullanarak izotropik cisimler boyunca sabit olmayan, tek boyutlu ısı akışı için verilen diferansiyel denklemleri sıvı akışına özdeş hale getirmiş ve denklemden bağımsız malzeme sabiti difüzyon katsayısı (C_v) olarak fiziksel anlam vermiştir (Terzaghi 1943). Bu teoriye göre oturma hızını etkileyen en önemli faktör c_v 'dir (Lambe & Whitman, 2008, Çinicioğlu, 2005).

İnce daneli zeminlerin konsolidasyon oturması ve kayma mukavemeti davranışlarının belirlenmesinde çoğunlukla Rowe hücreli konsolidasyon deneyi (Rowe and Barden Type), Sabit Gerilme Oranlı Konsolidasyon Sistemi (CRS in Load Frame type), 1 boyutlu konsolidasyon (ödometre) deneyi ve Üç eksenli basınç deneyleridir. ((ASTM D2435 / D2435M; TSE 1900-2 2006;EN ISO 17892-5 ; ASTM D4767; ASTM D2850 ;ASTM D7181; TS EN ISO 17892-9; ASTM D2435/D2435M 2011; BS EN ISO 17892-5 2017). Ödometre deneyi hem düşük bütçeli bir sete sahip olması hem de kullanım kolaylığı sebebi ile bir çok zemin temel etüt araştırmalarında doymun zeminlerin bir boyutlu konsolidasyon özelliklerini belirlemek için yaygın olarak uygulanan bir artımlı yükleme sıkıştırma testidir (Çinicioğlu, 2005).

Bu çalışmanın killi zeminlerin oturmasına katkısı olarak amacı; kullanılan çok değişkenli eşitliklerin konsolidasyon sıkışma indisini tahmin etme performanslarını sınamak, klasik istatistik yöntemlerle tek ve çok değişkenli yeni eşitlikler geliştirerek bazı parametreleri tahmin etmeye çalışmaktır.

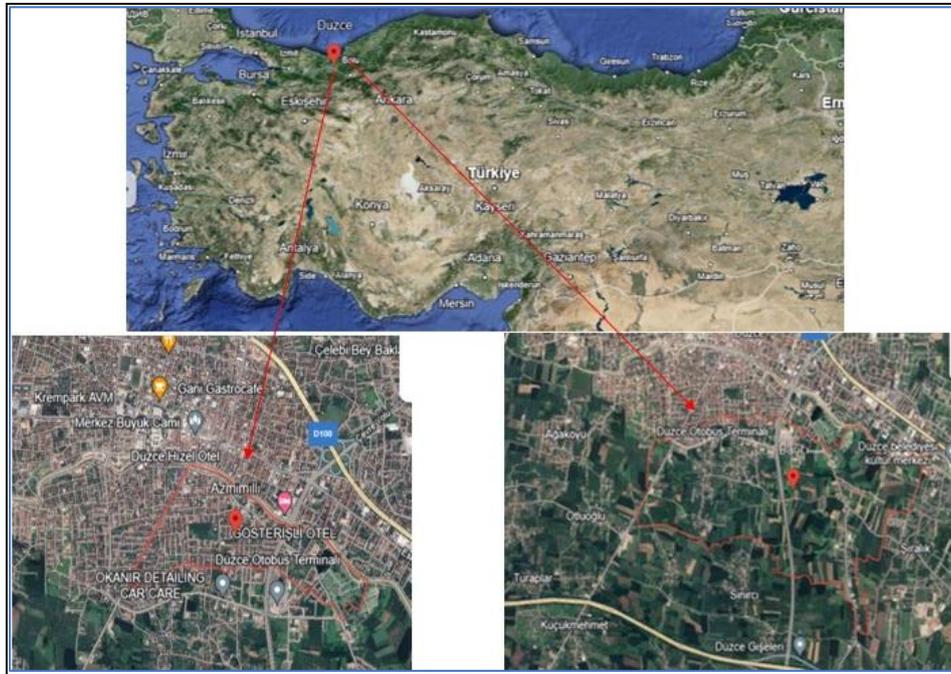
Bu çalışma, Türkiye'nin kuzeybatı bölgesinde yer alan Düzce ilindeki zeminlerin geoteknik özelliklerini, kapsamlı bir arazi ve laboratuvar test programı aracılığıyla incelemektedir (Güner & Özgan, 2025). Farklı derinliklerde açılan 55 sondaj kuyusundan veri toplanmış ve bu veriler, zeminlerin oturma davranışlarını değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Laboratuvar değerlendirmeleri kapsamında kazı derinliği, yeraltı su seviyesi, birim hacim

ağırlığı, su içeriği, tane boyutu dağılımı (No. 10 ve No. 200 eleklerinden geçen), içsel sürtünme açısı ve kohezyon ölçümleri yapılmıştır.

Bu çalışmada arazi ve laboratuvar deney sonuçları ile elde edilen zemin özellikleri ile zeminin oturma davranışı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Taguchi yöntemi ile zeminin oturma davranışı minimum yapan optimum zemin parametreleri ve bu parametrelerin önem sıraları tespit edilmiştir. Zemin parametrelerinin optimum katsayıları da belirlenerek her bir zemin parametresi için çizelge halinde gösterilmiştir. Ayrıca; oturma davranışına zemin parametrelerinin etkileri, öncelik sıraları ve optimum değerleri talolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

2. MATERYAL METHOD (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma alanı olan Düzce Havzası, Batı Karadeniz Bölgesi'nde Doğu Marmara ile Batı Karadeniz bölgeleri arasında yer almakta olup, $40^{\circ}37'$ ile $41^{\circ}07'$ kuzey enlemleri ve $30^{\circ}49'$ ile $31^{\circ}50'$ doğu boylamları arasında sınırlanmıştır olup yaklaşık 2593 km^2 'lik bir alanı kapsamaktadır (Emre, Ö. vd. (MTA), Varol, B. vd. (A.Ü.), 1999). İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları, jeofizik veriler ve jeolojik gözlemlere göre ova kısmı jeolojik birim olarak pliyo-kuaterner yaşlı alüvyon yelpazesi (Qal)'dir. Ovada kil-silt-kum-kum ardalanmalı bir istifin varlığını yani eski nehir yatağı veya göl yataklarını işaret etmektedir. Çalışma alanının kuzeyi ve kuzeybatısındaki eğimin yüksek olduğu kısımlar ise Çaycuma Formasyonu (Teç) olarak adlandırılmıştır (görsel 1).

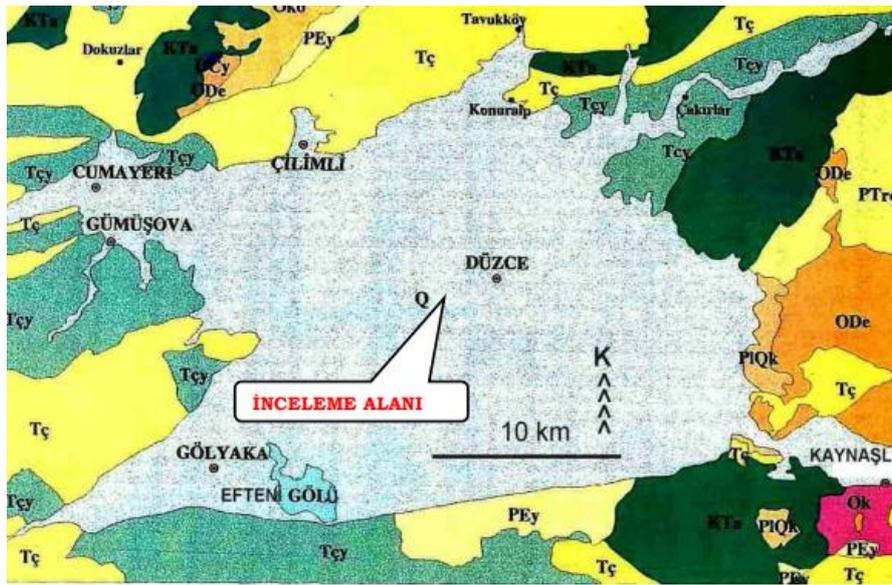


Görsel 1. İnceleme alanı konumu.

Bu formasyonda kireçtaşı, aglomera, tüfit ve marn seviyeli kumtaşı, siltaşı ve kıltaşı ardalanmasından oluşan birimler vardır. Düzce havzasındaki sediment kalınlığının geçmiş sondaj bilgilerine ve jeofizik verilere dayalı olarak yaklaşık 260 m civarında olduğu tespit edilmiştir (Erdik, 2001).

Tüm bu veriler ışığında yerleşime uygunluk açısından inceleme alanının ova kesiminin büyük bir bölümü alüvyonel zemin olduğu, yeraltı su seviyesinin çok sığ (0,10-2,6m aralığında) olduğu ve bu nedenlerle ovada sıvılaşma potansiyeli ,zeminde oturma ve taşıma gücü problemleri bulunmaktadır.

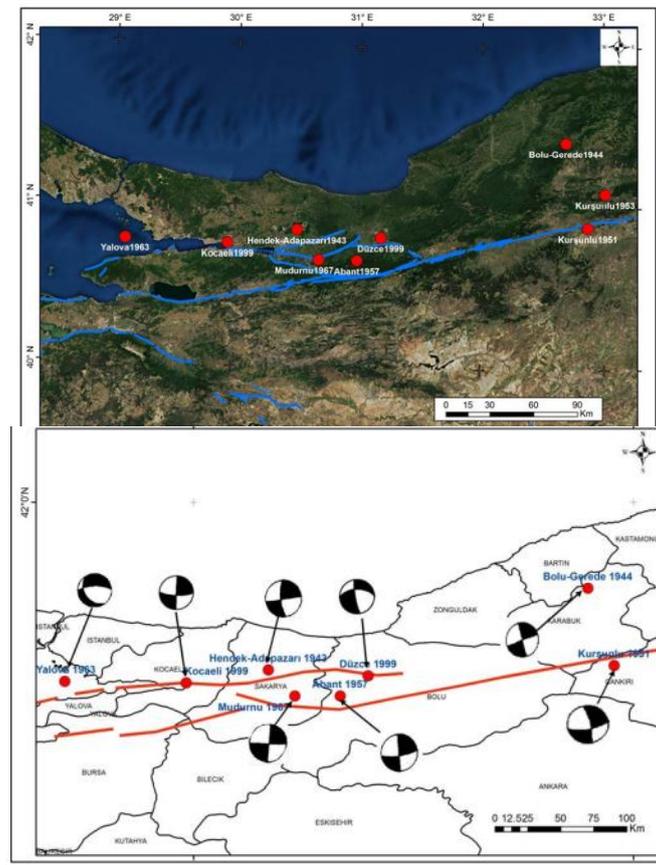
Kuzeyde Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhalarını birbirinden ayıran KAFZ yaklaşık uzunluğu 1200 km olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir. Düzce havzası Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde bulunmaktadır. Düzce havzasına en yakın konumlu olan ve deprem potansiyeli taşıyan faylar Düzce, Hendek ve Çilimli faylarıdır. Bu faylardan Düzce ve Hendek fayları aktif fay karakterindedir. Çilimli fayı ise olası aktif bir faydır (Emre vd., 1999).



Görsel 2. Düzce ili yakın çevresi jeoloji haritası MTA ve stratigrafik kesit

Düzce ve Bolu bölgesi sismik olarak oldukça aktiftir. Düzce kent merkezinin 100 km doğu ve batısında Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde tarihsel ve aletsel dönemde birçok deprem olmuştur (MTA,1999). Çalışma alanında meydana gelen önemli depremler, en güncel olandan başlayarak kronolojik sırayla belgelenmiştir (görsel 3).

1999 Düzce Depremi (Mw 7.2), 1999 Kocaeli Depremi (Mw 7.4), 1967 Mudurnu Depremi (Ms 7.1) ve 1957 Bolu-Abant Depremi (Ms 7.0), 1944 Bolu-Gerede ve 1943 Hendek depremleri. Bu depremler, yüzeyde belirgin kırıklar oluşturmuş, söz konusu kırıklar ayrıntılı olarak incelenmiş ve aktif fay segmentlerinin belirlenmesi amacıyla haritalanmıştır (Şaroğlu et al., 1992).



Görsel 3. Düzce–Bolu aktif fayları üzerinde gerçekleşen yıkıcı depremler. (Şaroğlu et al., 1992)

3. İNCELENEN KİLLİ ZEMİNLERDE OTURMAYI MİNİMUM YAPAN ZEMİN PARAMETRELERİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Bu çalışmada incelenen killi zeminler CL ve CH zemin tipi olarak iki ayrı grupta incelenmiştir. Bu zeminlerde, yeraltı su seviyesi, birim hacim ağırlık, su muhtevası, 10 ve 200 nolu elekten geçen zemin miktarları, likit limit, plastik limit, içsel sürtünme açısı ve kohezyon katsayısına bağlı olarak CL ve CH zemin tiplerinde minimum oturmayı sağlayabilecek en iyi deney sonuçlarının belirlenebilmesi amacı ile Taguchi yöntemi kullanılmıştır.

Taguchi yöntemi farklı deney düzenekleri ile elde edilen deney sonuçlarının maksimum, minimum, ortalama vb değerlerini elde edebilmek için optimum deney verilerinin belirlenmesi için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu çalışmada, deney verileri beş ayrı deney seviyesinde altı faktörlü olarak planlanmış ve bu şartlarda oluşturulan zemin verilerine bağlı olarak zeminde minimum oturma sağlayabilecek optimum zemin parametreleri hem CL hem de CH zemin tipleri için belirlenmiştir.

3.1 CL Tipi Kil Zeminin Analizi

CL tipi zeminde oturmayı minimum yapan zemin parametrelerinin analizi için 55 adet zemin etüt değeri kullanılmıştır. İncelenen zemin numunelerinin oturma ve diğer zemin parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri aşağıda gösterilmiştir (çizelge 1).

Tanımlanan zemin parametreleri oturmayı etkileme düzeyleri açısından 6 faktörlü ve 5 seviyeli deney setlerine dönüştürülmüş ve zemin parametreleri 6 faktör ve 5 seviye için tablo haline getirilmiştir. Taguchi yöntemi ile zeminin oturma değerinin minimum yapılabilmesi için CL tipi killi zemine ait parametrelerin her biri için bu düzenek şartları dikkate alınarak analiz yapılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1. CL zemin numunelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri

tanımlayıcı istatistiksel değerleri							
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Oturma miktarı (cm)	55	4,95	,88	5,83	2,7748	1,17785	1,387
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	55	,60	1,43	2,03	1,7912	,15344	,024
Su muhtevası (%)	55	63,18	5,46	68,64	21,8984	9,42917	88,909
No200 passing (%)	55	80,00	18,00	98,00	73,4881	19,60561	384,380
Likit limit (%)	55	31,00	18,00	49,00	41,0037	6,25375	39,109
Plastik limit (%)	55	16,00	8,00	24,00	18,9855	3,24893	10,556
İçsel sürtünme açısı (ø)	55	9,60	1,00	10,60	5,3336	2,72672	7,435
Kohezyon (MPa)	55	52,39	20,37	72,76	46,9680	13,23200	175,086

Çizelge 2. CL zemin parametreleri ve düzeyleri

CL Tipi Zemin Parametreleri					
7. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Düzye	8. Su Muhtevası (%)	Düzye	9. 200 No Geçen (%)	Düzye
1.43≤X<1.55	1	5.46≤X<18.1	1	18.0≤X<34.0	1
1.55≤X<1.67	2	18.1≤X<30.74	2	34.0≤X<50.0	2
1.67≤X<1.79	3	30.74≤X<43.38	3	50.0≤X<66.0	3
1.79≤X<1.91	4	43.38≤X<56.02	4	66.0≤X<82.0	4
1.91≤X<2.03	5	56.02≤X<68.64	5	82.0≤X<98.0	5
10. Plastisite İndisi	Düzye	11. İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Düzye	12. Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Düzye
17.0≤X<19.0	1	1.00≤X<2.92	1	20.37≤X<30.85	1
19≤X<21.0	2	2.92≤X<4.84	2	30.85≤X<41.33	2
21.0≤X<23.0	3	4.84≤X<6.76	3	41.33≤X<51.81	3
23.0≤X<25.0	4	6.76≤X<8.68	4	51.81≤X<62.29	4
25.0≤X<27.0	5	8.68≤X<10.6	5	62.29≤X<72.76	5

Taguchi yöntemi ile analizde, CL tipi killi zemine ait parametrelerin 5 düzeyli ve 6 faktörlü olarak analizleri yapılmış ve analizler sonucunda bu zeminin oturma değerini minimum yapan tahmin modelinin katsayıları aşağıda gösterilmiştir (çizelge 3).

Çizelge 3. CL tipi killi zeminde Taguchi metodu ile elde edilen tahmin modelinin katsayıları

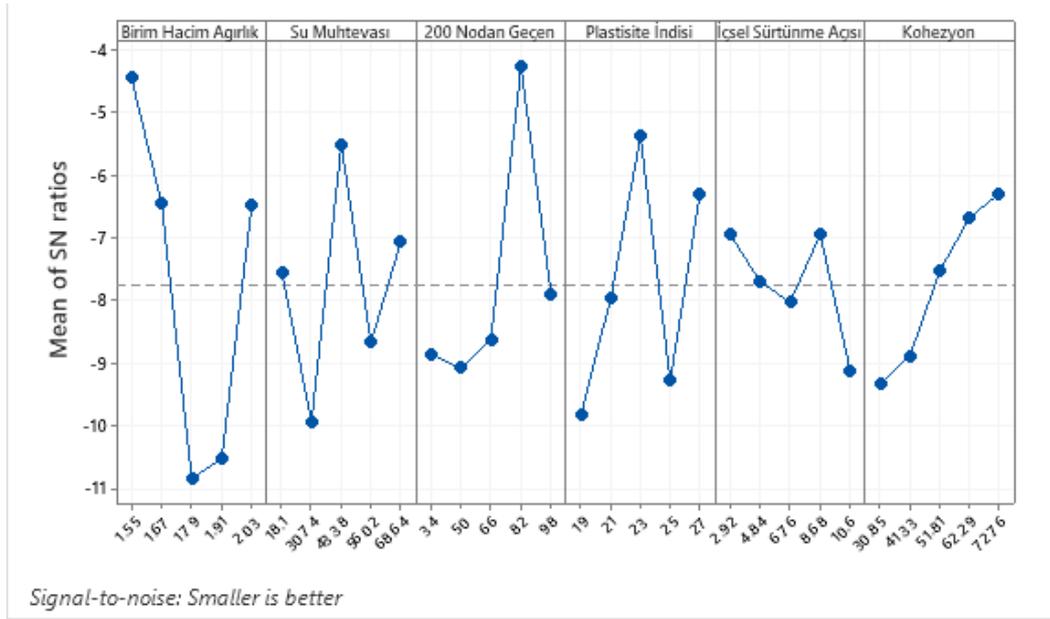
Denklem Sabiti	-7,75451				
CL Tipi Zemin Parametreleri					
6. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Katsayı	7. Su Muhtevası (%)	Katsayı	8. 200 No Geçen (%)	Katsayı
1.43≤X<1.67	3,28787	5.46≤X<30.74	0,20266	18.0≤X<50.0	- 1,11394
1.67≤X<1.79	1,29438	30.74≤X<43.38	-2,18627	50.0≤X<66.0	- 1,32889
1.79≤X<1.91	-3,08795	43.38≤X<56.02	2,22287	66.0≤X<82.0	- 0,87391
1.91≤X<2.03	-2,77251	56.02≤X<68.64	-0,92148	82.0≤X<98.0	3,46505
9. Plastisite İndisi	Katsayı	10. İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Katsayı	6.Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Katsayı
17≤X<21.0	-2,07058	1.00≤X<4.84	0,80694	20.37≤X<41.33	- 1,59084
21.0≤X<23.0	-0,21264	4.84≤X<6.76	0,04962	41.33≤X<51.81	- 1,13304
23.0≤X<25.0	2,35931	6.76≤X<8.68	-0,28298	51.81≤X<62.29	0,21351
25.0≤X<27.0	-1,52898	8.68≤X<10.6	0,80036	62.29≤X<72.76	1,06806

Taguchi yöntemi ile CL tipi killi zeminde oturma miktarını minimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve öncelik sıraları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (çizelge 4).

Çizelge 4. CL Tipi Killi zeminde oturmayı etkileyen zemin parametrelerinin etki düzeyleri

Level	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Su Muhtevası %	200 Nodan Geçen Zemin %	Plastisite İndisi	İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Kohezyon (gr/cm ²)
1	-4,467	-7,552	-8,868	-9,825	-6,948	-9,345
2	-6,460	-9,941	-9,083	-7,967	-7,705	-8,888
3	-10,842	-5,532	-8,628	-5,395	-8,037	-7,541
4	-10,527	-8,676	-4,289	-9,283	-6,954	-6,686
5	-6,476	-7,072	-7,903	-6,302	-9,128	-6,312
Delta	6,376	4,409	4,794	4,430	2,181	3,033
Rank	1	4	2	3	6	5

Tablodan görüldüğü üzere oturmayı minimum yapan zemin parametrelerinden birim hacim ağırlık ilk sırada, 200 nolu elekten geçen zemin miktarı ikinci sırada, plastisite indisi üçüncü sırada, su muhtevası dördüncü sırada, kohezyon katsayısı beşinci sırada ve içsel sürtünme açısı altıncı sıra yer almıştır. Taguchi yöntemi ile CL tipi killi zeminde oturma miktarını minimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve optimum değerleri aşağıda ki şekilde gösterilmiştir.



Görsel 4. CL tipi killi zeminde oturma değerini minimum yapan optimum zemin parametreleri

Grafik incelendiğinde, zemin parametrelerine bağlı olarak CL tipi zeminde minimum oturmayı sağlayan optimum zemin parametrelerinin sırası ile birinci sırada 1.79 gr/cm³ ile birim hacim ağırlığın, ikinci sırada %50 ile 200 nolu elekten geçen zemin miktarının olduğu, üçüncü sırada 19 ile plastisite indisinin olduğu, dördüncü sırada %30,74 ile su muhtevasının olduğu, beşinci sırada 30,85 gr/cm² ile kohezyon katsayısının olduğu ve altıncı sırada ise 10,6 derece ile içsel sürtünme açısının olduğu tespit edilmiştir.

3.2 CH Tipi Kil Zeminin Analizi

CH tipi zeminde oturma miktarını minimum yapan zemin parametrelerinin analizi için 70 adet zemin etüt değeri kullanılmıştır. İncelenen zemin numunelerinin oturma miktarı ve diğer zemin parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 5. CH kil numune örnekleri için tanımlayıcı istatistiksel değerleri.

tanımlayıcı istatistiksel değerleri							
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Oturma	70	4,64	1,13	5,77	3,0049	1,01605	1,032
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	70	,63	1,42	2,05	1,8273	,11471	,013
Su muhtevası (%)	70	30,6	9,10	39,70	24,1753	6,25190	39,086
No200 passing %	70	80,0	18,00	98,00	82,8731	14,68066	215,522
Likit limit %	70	40,5	18,00	58,50	52,4379	6,04358	36,525
Plastik limit %	70	15,0	13,00	28,00	22,5385	2,62091	6,869
İçsel sürtünme açısı (ø)	70	10,0	1,00	11,40	5,0221	1,76055	3,100
Kohezyon (MPa)	70	55,78	26,52	82,30	57,1375	10,97775	120,511

Taguchi yöntemi ile analizde, CH tipi killi zemine ait parametrelerin her biri 5 seviyeli (düzeyli) ve 6 faktörlü olarak düzenlenmiş ve bu düzenek şartları dikkate alınarak analiz yapılmıştır (Tablo 6).

Çizelge 6. CH tipi killi zeminin parametreleri ve düzeyleri

CH Tipi Zemin Parametreleri					
7. Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Düzyey	8. Su Muhtevası (%)	Düzyey	9. 200 No Geçen (%)	Düzyey
1.42≤X<1.55	1	9.10≤X<15.22	1	18.0≤X<34.0	1
1.55≤X<1.68	2	15.22≤X<21.34	2	34.0≤X<50.0	2
1.68≤X<1.81	3	21.34≤X<27.46	3	50.0≤X<66.0	3
1.81≤X<1.94	4	27.46≤X<33.58	4	66.0≤X<82.0	4
1.94≤X<2.05	5	33.58≤X<39.70	5	82.0≤X<98.0	5
10. Plastisite İndisi	Düzyey	11. İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Düzyey	12. Kohezyon Katsayısı (gr/cm ²)	Düzyey
18.00≤X<21.98	1	1.00≤X<3.08	1	26.52≤X<37.68	1
21.98≤X<25.96	2	3.08≤X<5.16	2	37.68≤X<48.84	2
25.96≤X<29.94	3	5.16≤X<7.24	3	48.84≤X<60.00	3
29.94≤X<33.92	4	7.24≤X<9.32	4	60.00≤X<71.16	4
33.92≤X<37.90	5	9.32≤X<11.40	5	71.16≤X<82.32	5

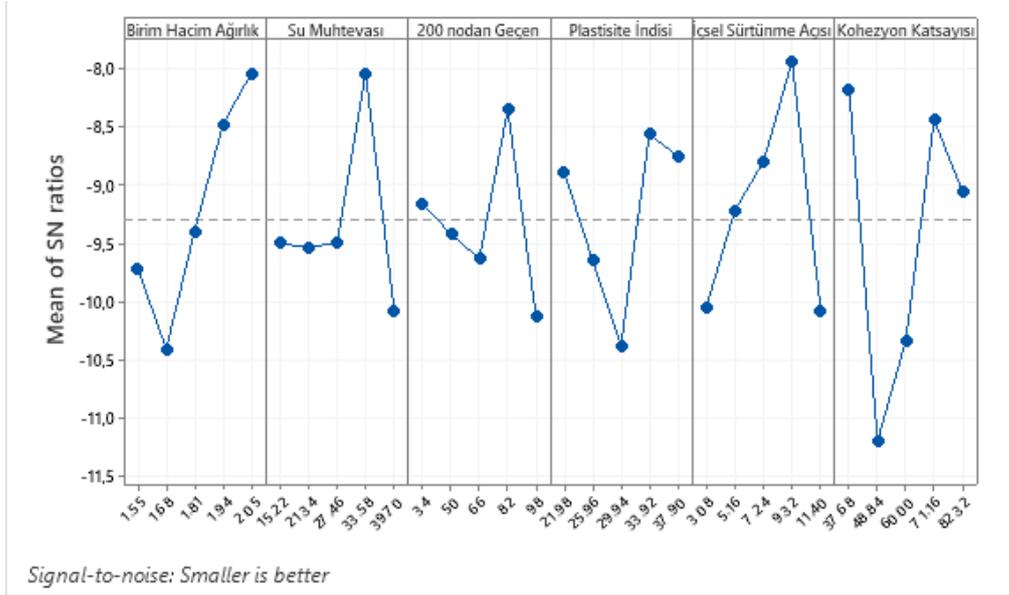
Taguchi yöntemi ile CH tipi killi zeminde oturma miktarını minimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve öncelik sıraları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir .

Çizelge 7. CH Tipi Killi zeminde oturma miktarını minimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri

Level	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Su Muhtevası %	200 Nodan Geçen Zemin %	Plastisite İndisi	İçsel Sürtünme Açısı (ø)	Kohezyon (gr/cm ²)
1	-9,719	-9,497	-9,157	-8,888	-10,053	-8,184
2	-10,404	-9,533	-9,421	-9,645	-9,215	-11,195
3	-9,392	-9,489	-9,629	-10,376	-8,796	-10,332
4	-8,476	-8,039	-8,345	-8,559	-7,934	-8,436
5	-8,035	-10,082	-10,122	-8,745	-10,072	-9,054
Delta	2,370	2,043	1,778	1,817	2,138	3,010
Rank	2	4	6	5	3	1

CH tipi killi zeminlerde minimum oturma miktarını sağlayan zemin parametrelerinden kohezyon katsayısı ilk sırada, birim hacim ağırlık ikinci sırada, içsel sürtünme açısı üçüncü sırada, su muhtevası dördüncü sırada, plastisite indisi beşinci sırada ve 200 nolu elekten geçen zemin miktarı altıncı sıra yer almıştır. Taguchi yöntemi ile CH tipi killi zeminde oturma

miktarını minimum yapan zemin parametrelerinin etki düzeyleri ve optimum değerleri aşağıda ki şekilde gösterilmiştir (Şekil 5).



Görsel 5. CH tipi killi zeminde oturma miktarını minimum yapan optimum zemin parametreleri

Grafik incelendiğinde, zemin parametrelerine bağlı olarak CH tipi zeminde minimum oturma sağlayan optimum zemin parametrelerinin sırası ile birinci sırada 48,84 ile kohezyon katsayısı, ikinci sırada 1,68 gr/cm³ ile birim hacim ağırlığın, üçüncü sırada 11,40 ile içsel sürtünme açısının olduğu, dördüncü sırada %39,70 ile su muhtevasının olduğu, beşinci sırada 29,94 ile plastisite indisinin olduğu ve altıncı sırada ise %98 ile 200 nolu elekten geçen zemin miktarının olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (Conclusions)

Zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arazide ya da laboratuvarlarda yapılan deneysel çalışmalarla ve çeşitli yaklaşımlarla belirlenebilmektedir. Zemin heterojen doğal bir malzeme olduğu aynı arazinin farklı noktalarında bile çok farklı deney sonuçları elde edilebilmektedir. Aynı arazi üzerinde ya da farklı bir arazide yapılan çalışmalarda zeminin oturma miktarı ve diğer özellikleri belirlendiğinde hem oturma miktarının hem de diğer parametrelerin birbirinden çok farklı olduğu görülebilmektedir. Bu durumda zeminde ki oturma miktarını belirleyen diğer parametrelerin aynı zeminin oturma miktarını bazı durumlarda maksimum yaparken aynı parametrelerin değişmesine bağlı olarak zeminin oturma miktarının minimum olduğu da görülebilmektedir.

Zeminin parametrelerinde ki değişimler doğal olarak oturma miktarı ve diğer mühendislik özelliklerini de değiştirmektedir. İncelenen CL ve CH tipi killi zeminlerde zeminde ki oturma

miktarını etkileyen zemin parametreleri incelenmiş ve bu parametrelerin hangi değerleri alması durumunda zeminde minimum oturmanın olabileceği Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir.

İncelenen CL tipi killi zeminde minimum oturma ile maksimum oturma miktarı arasında yaklaşık 6,63 kat fark olduğu, birim hacim ağırlığın 1,96 ile 5,67 (kgf/cm^2) arasında değiştiği, su muhtevasının %5,46 ile %68,64 arasında değiştiği, 200 nolu elekten geçen zemin miktarının %18 ile %98 arasında değiştiği, içsel sürtünme açısının 1,00 ile 10,60 derece arasında değiştiği, plastisite indisinin 17 ile 27 arasında değiştiği ve kohezyon katsayısının ise 20,37 ile 72,76 arasında değiştiği görülmüştür.

İncelenen CH tipi killi zeminde minimum oturma ile maksimum oturma miktarı arasında yaklaşık 5,10 kat fark olduğu, birim hacim ağırlığın 1,42 ile 2,05 (gr/cm^3) arasında değiştiği, su muhtevasının %9,10 ile %39,70 arasında değiştiği, 200 nolu elekten geçen zemin miktarının %18 ile %98 arasında değiştiği, içsel sürtünme açısının 1,00 ile 11,40 derece arasında değiştiği, plastisite indisinin 18 ile 37,90 arasında değiştiği ve kohezyon katsayısının ise 26,52 ile 71,166 arasında değiştiği görülmüştür.

Bu kadar farklı değer aralığına sahip CL ve CH tipi killi zemin parametrelerinin zeminin oturma miktarına nasıl ve ne düzeyde etkiledikleri her iki zemin tipi için Taguchi yöntemi ile analiz edilmiş ve CL ve CH tipi killi zeminlerde oturma miktarını minimum yapan optimum zemin parametrelerinin öncelik sırasına göre aşağıda ki şekilde olması gerektiği tespit edilmiştir.

Buna göre,

CL killi zemin tipinde minimum oturmanın sağlanabilmesi için;	CH Killi Zemin tipinde minimum oturmanın sağlanabilmesi için;
Birinci sırada 1.79 gr/cm^3 ile birim hacim ağırlığın, İkinci sırada %50 ile 200 nolu elekten geçen zemin miktarının olduğu, Üçüncü sırada 19 ile plastisite indisinin olduğu, Dördüncü sırada %30,74 ile su muhtevasının olduğu, Beşinci sırada $30,85 \text{ gr/cm}^2$ ile kohezyon katsayısının olduğu, Altıncı sırada ise 10,6 derece ile içsel sürtünme açısının olduğu tespit edilmiştir.	Birinci sırada 48,84 ile kohezyon katsayısı, İkinci sırada $1,68 \text{ gr/cm}^3$ ile birim hacim ağırlığın, Üçüncü sırada 11,40 ile içsel sürtünme açısının olduğu, Dördüncü sırada %39,70 ile su muhtevasının olduğu, Beşinci sırada 29,94 ile plastisite indisinin olduğu, Altıncı sırada ise %98 ile 200 nolu elekten geçen zemin miktarının olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma sadece CL ve CH tipi killi zeminler üzerinde yapılmıştır. Benzer çalışmalar kumlu, killi, siltli zeminler üzerinde de yapılarak bu zemin türlerinde de oturma miktarını etkileyen ve bu oturma miktarını minimum yapabilecek optimum zemin parametreleri belirlenebilir. Bu çalışma ile hem sahada hem de laboratuvarda CL ve CH tipi zeminlerin oturma miktarları ve diğer parametreler arasında ki ilişkiler belirlenmiştir. Bu sonuçlar dikkate alınarak hem var olan doğal zeminin oturma miktarı hem de doğal olmayan yapay bir şekilde oluşturularak dolgu zemin, temel zemini vb zemin iyileştirme çalışmalarında zeminin oturma miktarını minimum yapan bu parametrelere göre karışım dizaynı yapılması durumlarında doğal olmayan dolgu, temel zemini vb çakıllı zeminlerin oturma miktarlarının azaltılabileceği değerlendirilmektedir. Benzer çalışmaların diğer zemin türleri için de yapılmasının hem sahada hem de laboratuvar çalışmalarında zeminlerin oturma miktarlarının var olan zemin parametrelerinden en optimum değerlerin seçilmesi ile çok ekonomik bir şekilde sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (References)

- Alkaya, D.; Çobanoğlu, İ. Toprakarme (donatılı zemin) yapılar. *Denizli İMO Bülten-İnceleme Araştırma* **2007**, 54, 29–37.
- Brinch Hansen, J. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. *Bulletin of the Danish Geotechnical Institute*
- Bowles, J. E., & Guo, Y. (1996). *Foundation analysis and design* (Vol. 5, p. 127). New York: McGraw-hill.
- Coduto, D.P. *Foundation Design: Principles and Practices*, 2nd ed.; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA, 2000.
- Çinicioğlu, F. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. 2005. Available online:
- Das, M.B. *Principle of Geotechnical Engineering*, 7th ed.; Cengage Learning: Stamford, CT, USA, 2010.
- Emre, Ö. vd. (MTA), Varol, B. vd. (A.Ü.), 1999. 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelemesi. TÜBİTAK (MTA Genel Müdürlüğü ve A.Ü. Ortak Araştırma Projesi).
- Güner, A. B. S., & Özgan, E. (2025). Statistical Analysis of Soil Parameters Affecting the Bearing Capacity and Settlement Behaviour of Gravel Soils. *Applied Sciences*, 15(10), 5271..
- Kaliakin, V. *Soil Mechanics: Calculations, Principles, and Methods*; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2017.
- Kumbasar, V., & Kip, F. (1999). Zemin mekaniği problemleri. Çağlayan Kitabevi.
- Kramer, S.L. *Geotechnical Earthquake Engineering*; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA; 1996; p. 653.
- Kulhawy, F.H.; Mayne, P.W. *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*; EL-6800; Project 1493-6; Electric Power Research Institute (EPRI): Palo Alto, CA, USA, 1990
- Özmen, B. *Düzce-Bolu Bölgesi'nin Jeolojisi, Diri Fayları ve Hasar Yapan Depremleri s:1-14, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu*; Özmen, B., Bağcı, G., Eds.; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi: Ankara, Turkey, 2000.

- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2008). *Soil mechanics SI version*. John Wiley & Sons..
- Meyerhof, G.G. Ultimate Bearing Capacity of Footings on Sand Layer Overlying Clay. *Can. Geotech. J.* **1974**, *11*, 223–229. <https://doi.org/10.1139/t74-018>.
- Meyerhof, G. G. (1951). The ultimate bearing capacity of foundations. *Geotechnique*. <https://doi.org/10.1680/geot.1951.2.4.301>
- M.T.A, Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U). (1999). “17 ağustos 1999 depremi sonrası düzce (bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelenmesi”, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, Ankara. MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü),
- Peck, R.B.; Hanson, W.E.; Thornburn, T.H. *Foundation Engineering*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1974.
- *SPSS Statistics Version 22*; IBM: Armonk, NY, USA, 2020.
- Şaroğlu F., Ö. Emre, İ. Kuşçu (1992). Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müd., Ankara.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., and Şaroğlu, F., 1985, Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Biddle, K. T., and ChristieBlick, N., eds., *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, Special Publication No. 37, p. 227-264.
- Terzaghi, K.; Peck, R.B.; Mesri, G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 1996.
- Terzaghi, K.; Peck, R.B. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1967.
- Uzuner, B. A. (2007). Temel zemin mekaniği. *Derya Kitabevi, Trabzon*.
- Uzundurukan, S. İnce daneli zeminlerin bazı geoteknik özelliklerinin SPT ve DPT verilerine bağlı ampirik ifadeler ile tespitine yönelik bir çalışma. Master’s Thesis, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, Türkiye, 2001.
- Vesic, A. S. (1973). ANALYSIS OF ULTIMATE LOADS OF SHALLOW FOUNDATIONS. ASCE J Soil Mech Found Div.

STANDARTLAR Standarts

ASTM D2435 / D2435M – Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading

TS 1900 EN ISO 17892-5 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2- Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü: Ankara, Turkey, 2006, Geoteknik araştırma ve deney Zeminler için laboratuvar deneyleri – Konsolidasyon özelliklerinin tayini

TS 1500:2000; İnşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması. Türk Standartları Enstitüsü: Ankara, Turkey, 2000.



ASTM D4767 – Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils,

ASTM D2850 – Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils,

ASTM D7181 – Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils,

İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Tİ6AL4V ALAŞIMINDA ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Doç.Dr, Hayriye ERTEK EMRE

Karabük Üniversitesi, hayriyeertek@karabuk.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-8218-037X

ÖZET

Eklemeli imalat teknolojileri, tasarım özgürlüğü sayesinde klasik üretim yöntemleriyle üretilmeyen karmaşık geometrilere sahip parçaların kolaylıkla üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemle, çok parçalı ürünler tek bir işlem adımıyla bütünleşik olarak üretilmekte, bu da hem üretim süresinde hem de maliyetlerde önemli avantajlar sağlamaktadır. Katman katman eklenerek oluşturulan 3 boyutlu modeller, yüksek boyutsal hassasiyetle üretilmekte ve %99'a kadar doluluk oranı, daha homojen iç yapı, daha az atık oluşumu gibi birçok üstünlük sunmaktadır. Bu yönleriyle eklemeli imalat, havacılık, otomotiv, biyomedikal gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, eklemeli imalatta kullanılan ve yüksek mekanik özellikleriyle bilinen Ti6Al4V titanyum alaşımı çalışmıştır. Yüksek maliyetli bir alaşım olan Ti6Al4V'nin üretim sürecinde kullanılan parametreler, özellikle de lazer gücü, nihai ürünün mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Seçici Lazer Ergitme (SLM) yöntemiyle üretilen bu alaşım üzerinde farklı lazer gücünün mekanik özelliklere etkisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı lazer gücünde (260,280,300W) üretilen numunelerin SLM üretim işlemi sonrasında, farklı sıcaklıklarda ısıl işlemi (540 °C, 800 °C ve 970 °C) uygulanarak imalat performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla çekme testi ve Vickers sertlik testi uygulanarak mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Optimum çekme ve akma değerleri 540 °C sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmış ve 260 W lazer gücünde birleştirilmiş numuneden 1201 MPa çekme dayanımı 1192 MPa akma dayanımı ve %3,9 uzama olarak elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığının 540 °C'den 800 °C'ye artmasıyla birlikte; çekme 1200 MPa'dan 1000 MPa'ya düşüş göstermiş ancak yüzde uzama miktarı yaklaşık %28'lik bir artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Ti6Al4V, Mekanik özellikler, Isıl işlem

The Effect of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Ti6Al4V Alloy Produced by Additive Manufacturing

Abstract: Additive manufacturing technologies enable the easy production of complex geometries that cannot be manufactured using conventional methods, thanks to their design freedom. With this method, multi-component products can be fabricated as a single integrated part in one step, providing significant advantages in both production time and cost. The layer-by-layer construction of 3D models offers high dimensional accuracy, up to 99% density, more homogeneous internal structures, and reduced material waste. Due to these advantages, additive manufacturing is widely used in various sectors such as aerospace, automotive, and biomedical industries. In this study, Ti6Al4V titanium alloy, known for its high mechanical properties, was investigated in the context of additive manufacturing. As a high-cost alloy, the process parameters used in its production, especially laser power, have a direct impact on the final mechanical properties of the product. The alloy was produced using the Selective Laser Melting (SLM) technique, and the effect of different laser powers on its mechanical performance was evaluated. In this context, samples produced at different laser powers (260 W, 280 W, and 300 W) underwent post-processing heat treatments at various temperatures (540 °C, 800 °C, and 970 °C) to examine the effects on mechanical performance. Tensile tests and Vickers hardness tests were carried out to compare strength values. The optimum tensile and yield strength values were obtained from the sample processed at 260 W laser power and heat-treated at 540 °C, with a tensile strength of 1201 MPa, yield strength of 1192 MPa, and elongation of 3.9%. As the heat treatment temperature increased from 540 °C to 800 °C, the tensile strength decreased from 1200 MPa to 1000 MPa, but the elongation showed an increase of approximately 28%.

Keywords: Additive Manufacturing, Ti6Al4V, Mechanical Properties, Heat Treatment

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat, prototipleme ve parça üretimi gibi alanlarda, çok parçalı ürünlerin tek adımda entegre şekilde üretilmesine olanak tanıyarak üretim süresi ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlar [1,2]. Titanyum alaşımlarının 3D baskısı, dişçilik uygulamalarında kullanılan titanyum alaşımları için önemini korumaktadır. Bunun nedeni, alaşımın insan hücreleri ile mükemmel uyumluluğudur [3]. 3D baskı ayrıca, endüstride havacılık ve uzay alanında geniş uygulama alanına sahiptir. Baskı sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık gradyanı dolayısıyla, katılaşmadan sonra tamamen lamelli mikroyapılara sahip sütunlu taneler oluşabilir. Buna ek olarak, katılaşma sonrasında erimiş bölge yeniden ısıl işleme tabii tutulur, bu da yeni eriyiklerin

çökmesini artırır ve eş ekşenli taneler oluşturarak gerilimleri azaltır. Sonuç olarak uygulanan bu ek ısıl işlem eş ekşenli taneleri ve mekanik özellikleri iyileştirir [4-5].

Eklemeli üretimin incelenmesi için yapılan önemli araştırma çalışmaları arasında titanyum alaşımlarına sıklıkla rastlanılmaktadır. Titanyum alaşımları yüksek oksidasyon potansiyeline sahiptir [6] ve fazla yüksek sıcaklıktaki oksidasyon reaksiyonları nedeniyle 3d üretim sırasında dikkatli olunmalıdır; bu durumda, baskı sırasında oksidasyon reaksiyonlarını önlemek için yardımcı gaz kullanılmalıdır [7-13].

Barui ve diğerleri [7], 3D toz baskılı Ti6Al4V alaşımının mikroyapı özelliklerini incelemişler ve 3D baskı ile üretilen gradyan gözenekli iskeleler, homojen gözenekli iskelelere kıyasla daha yüksek bir elastik modülün kaydedildiğini rapor etmişlerdir. 3D baskı ile üretilen Ti6Al4V gözenekli iskeleler, biyomedikal olarak ilgili mikro yapısal ve mekanik özellikler sergilemiştir. Zhuang ve arkadaşları [8], Ti6Al4V tozunun seçici lazer eritme işleminde sıcaklık alanının zamanla evrimini ve eriyik havuzunun geometrisini tahmin etmek için geçici termal analizle ilgili bir model çalışması sunmuşlardır. Sonuç olarak, erimiş havuzun genişliğini ve derinliğini tahmin etmiş ve bu bilgilerin, işlem parametrelerinin uygun aralıklarını belirlemek ve hata noktalarını tespit etmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Ran ve arkadaşları [9], farklı gözenek boyutlarına sahip Ti6Al4V implantlarının 3D baskısını araştırmışlardır. Bu sebeple, uygun gözenek boyutuna sahip iskelelerin hücre yapışması, çoğalması ve erken diferansiyasyonu için faydalı olduğunu göstermiştir. Mahamood ve Akinlabi [12], lazer metal birleştirme işlemiyle titanyum alaşımının mikro yapısı ve mikro sertliği üzerindeki işlem parametrelerinin etkisini incelemişlerdir. Lazer işleminin, yerleştirilen katmanın mikro yapısını değiştirdiğini ve bunun sonucunda yerleştirilen yüzeyin mikro sertliğini önemli ölçüde artırdığını rapor etmişlerdir. Dutta ve Froes [14], titanyum alaşımlarının eklemeli imalatı üzerine bir çalışma yapmışlardır ve Ti6Al4V'nin eklemeli imalat yoluyla üretilen mikro yapıların ve mekanik özelliklerinin, döküm ve haddeli ürünlerle karşılaştırılabileceğini göstermişlerdir.

Seçici lazer eritme (SLE) yöntemli metal eklemeli imalat (MEİ) yönteminde ise iki ana uygulama alanı vardır. Bunlar havacılık-uzay sanayi ve biyomedikal alanlarıdır [15]. SLE yöntemi biyomedikal sanayisinde gözenekli implantların yapımında sıklıkla kullanılmaktadır [16]. Eİ havacılık ve uzay sanayinde kullanım sebebi ise katı cisimlerde gözenekli yapıda yakın mukavemete sahip olan malzemelerle değiştirilerek malzemelerde ağırlık azalmasına neden olmaktadır [17]. SLE yönteminde düşük ergime noktalı elementlerin eklenmesine gerek kalmadan toz malzemedan üretim yapılabilir. SLE yönteminin dezavantajlarından birisi de

ergitme işlemi esnasında yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan artık gerilmelerdir. Malzemede oluşan bu artık gerilmeler parçanın bozulmasına neden olabilir. Çözüm olarak; malzemeyi önceden ısıtarak ve oda içindeki sıcaklığı sabit ve yüksek seviyede tutarak artık gerilme en aza düşürülebilir [18,19].

Buchbinder ve diğerleri [20] yapmış olduğu çalışmada, SLE yönteminde lazer gücü arttıkça malzemelerin yoğunluğunun arttığını belirlemişlerdir. Casalino ve diğerleri [21], SLE yönteminde, tarama hızı ve lazer gücünün, sertlik, uzama, yüzey pürüzlülüğü ve maksimum çekme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 180-200-220 mm/s tarama hızı ve 57-86-100 W lazer gücü kullanıldığı çalışmada, enerji yoğunluğu arttıkça, parçanın yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Eİ de işlem parametrelerinin optimize edilmesi esasına dayanan çalışmalarda genellikle Enerji yoğunluğu denklemi kullanılır.

$$E = P / (v.s.t) \quad (1.1)$$

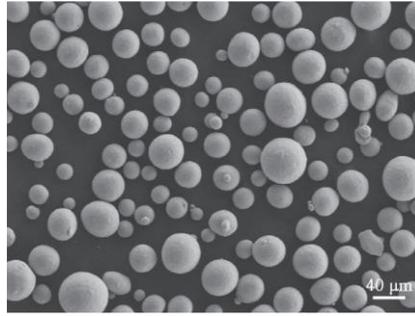
(1.1) ile gösterilen denklem enerji yoğunluğu denklemidir. P lazer gücü (W), v tarama hızı (mm/s), s tarama aralığı (mm) ve t ise katman kalınlığı (mm)'dir. Bu parametreler ile elde edilen enerji yoğunluğunun (E) parçalar üzerine etkileri incelenmektedir [22].

Yapılan literatür taramalarından görüldüğü gibi Titanyum alaşımlarının 3D baskı ile üretimi ilgili çalışmalar mevcuttur [3-10], ancak yapılan çalışmaların ana odak noktası, üretilen parçaların tıp ve havacılık endüstrileri [5] gibi çeşitli alanlardaki uygulanabilirliğidir. Baskı süreciyle ilgili mekanik özellikler ise gelecekteki çalışmalara bırakılmıştır. Literatürdeki çalışmaların çoğu, lazer ergitme sırasında birleştirme parametrelerini iyileştirmek veya üretilen parçaların mekanik özelliklerini artırmak amacıyla uygulanan ısıtma işlemleri kapsamaktadır. Bu çalışmada ise eklemeli imalat yöntemiyle üretilen Ti6Al4V malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve lazer üretim performansını değerlendirmek amacıyla numuneler, hem farklı enerji yoğunluğu kullanılarak üretilmiş; hem de üretim sonrası farklı ısıtma işlemleri kullanılarak enerji yoğunluğu ve ısıtma işlem parametrelerinin her ikisi birden mukayese edilmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmada Seçici Lazer Ergitme (SLM) yöntemiyle üretilen Ti6Al4V alaşım üzerinde lazer gücünün ve buna bağlı olarak oluşan enerji yoğunluğunun ve üretim işlemi sonrası uygulanan ısıtma işleminin mekanik özelliklere etkisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, üç farklı 260 W, 280 W ve 300W lazer gücünde üretilen numunelerin lazer üretim işlemi sonrası, atmosfer kontrollü vakum fırında üç farklı sıcaklıkta (540 °C, 800 °C ve 970 °C) ısıtma işlemi uygulanmıştır. Her bir parametre için Ti-alaşımı (Ti6Al4V) üzerindeki mekanik özelliklerin değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla çekme testi ve vickers sertlik testi uygulanarak mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, eklemeli imalat

yöntemleriyle üretilen Ti6Al4V alaşımlarının üretim parametreleri değişimi ve ısıl işlem prosedürleri, mekanik davranışları ile ilişkilendirilerek optimum parametrelerin belirlenmesi sağlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmada kullanılan D50 (25-40 μ) toz boyutlarında (Görsel 1) Ti tozu Gelişmiş inert gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş olup, kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’de verilmiştir.



Görsel 1. Seçici Lazer Ergitme (SLM) prosesiyle uyumlu olarak deneyisel çalışmada kullanılan Ti64 tozu görüntüsü

Çizelge 1. Kimyasal Bileşim Tablosu (Ağırlıkça % / wt.%)

Sample	Ti	Al	V	O	N	C	H	Fe
Ti6Al4V Grade 5	Bal.	5.5–6.75	3.5–4.5	≤0.20	≤0.05	≤0.08	0.015	≤0.30

Bu çalışmada yapılan incelemeler için Ti-6Al-4V çekme test numuneleri ASTM E8/E8M-15a standartlarına uygun olarak 2 mm kalınlığında BLT-A300/A320 3D makinası ile üretilmiştir(Görsel 2).



Görsel 2. SLM eklemeli imalat makinası

Bu numuneler önce bir 3B model olarak hazırlanmış, daha sonra standart tesselayon dili (STL) dosya formatına dönüştürülerek 3B yazıcıya gönderilmiştir. Test numunelerinin baskı yönü, lazer tarama yönünde, dik bir şekilde ve boyuna yönde olmuştur. Üretimde kullanılan parametreler Çizelge 2’de verilmiştir. Üretim süreci, %99,999 saflıkta argon gazı ortamında gerçekleştirilmiş ve üretim sırasında tozun oksitlenmesi riski ortadan kaldırılmıştır.

Çizelge 2. Kullanılan üretim parametreleri

Sıra Numarası	Lazer Gücü (W)	Isıl İşlem Değeri	Katman Kalınlığı	Tarama aralığı	Tarama Hızı	Enerji yoğunluğu
1	260Watt	540°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	34,6
2	280Watt	540°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	37,3
3	300Watt	540°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	40
4	260Watt	800°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	34,6
5	280Watt	800°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	37,3
6	300Watt	800°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	40
7	260Watt	970°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	34,6
8	280Watt	970°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	37,3
9	300Watt	970°	60 µm	0,1 mm	1250 mm/s	40

Kullanılan enerji yoğunluğu denklemi aşağıda verilmiştir:

$$\text{Enerji Yoğunluğu} = P / (v \times h \times t) \quad (2)$$

Burada P [W] lazer gücü, v [mm/s] tarama hızı, h [mm] tarama aralığı (hatch spacing) ve t [mm] katman kalınlığıdır. Bu parametrelerle hesaplanan enerji yoğunluğu Çizelge 2’ye eklenmiştir.

SLM yöntemiyle her farklı enerji yoğunluğunda üretilen parçalar üç gruba ayrılmıştır. 1. grup parçalar, üretim sonrası vakum fırınında 540 °C’de 2 saat boyunca gerilim giderme işlemine tabi tutulmuş ve ardından fırında soğutulmuştur (Sırasıyla, 540-260W, 540-280W, 540-300W olarak kodlanmıştır). Eklemeli imalatla üretilen diğer 2 gruba ise parçalara sırasıyla vakum fırınında 800 °C ve 970 °C sıcaklıklarda 2 saat süreyle bekletme ve sonrasında fırında soğutma

şeklinde gerçekleştirilmiştir. (Sırasıyla, 800-260W, 800-280W, 800-300W ve 970-260W, 970-280W, 970-300W olarak kodlanmıştır).

Mekanik özelliklerdeki değişimi belirlemek amacıyla, numunelere mikrosertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Mikrosertlik testi, 300 g yük altında 15 saniye bekletme süresi ile gerçekleştirilmiştir. Çekme testi numuneleri, ASTM E8/E8M-15a standardına uygun şekilde hazırlanmış ve oda sıcaklığında, SCHIMAZDu marka çekme test cihazında 1 mm/dak hızla tek eksenli çekme testine tabi tutulmuştur.

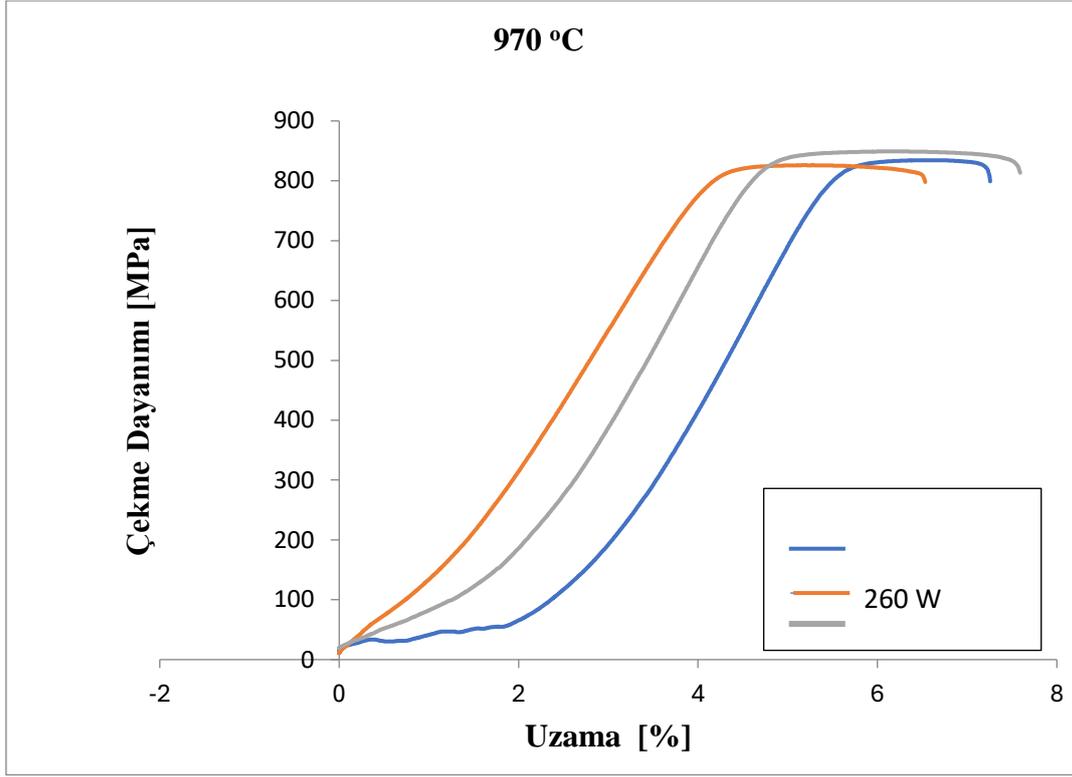
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme deneyleri gerçekleştirilerek tüm parametreler için akma dayanımı, çekme dayanımı ve yüze uzama değerleri belirlenmiştir. Numunelerin çekme test sonuçları Çizelge 3 'de verilmiştir.

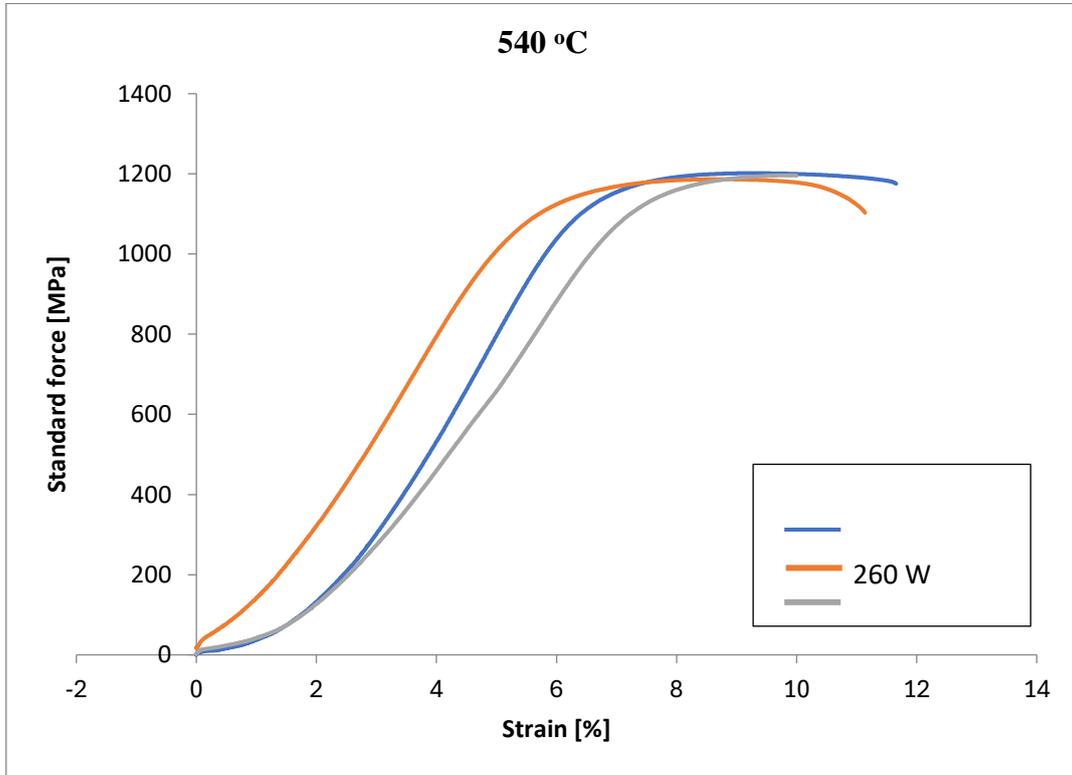
Çizelge 3. Deney numunelerinin çekme test sonuçları

Numune	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)
970-260 W	833,984	834,4953	1,252533
970-280 W	824,6231	826,0906	2,072898
970-300 W	848,4069	849,1582	2,17158
540-260 W	1192,568	1201,777	3,919714
540-280 W	1156,344	1186,568	5,003502
540-300 W	1185,769	1196,472	1,342769
800-260 W	993,6705	1011,32	4,047683
800-280 W	989,8533	1007,268	6,069353
800-300 W	984,4225	1008,778	5,462806

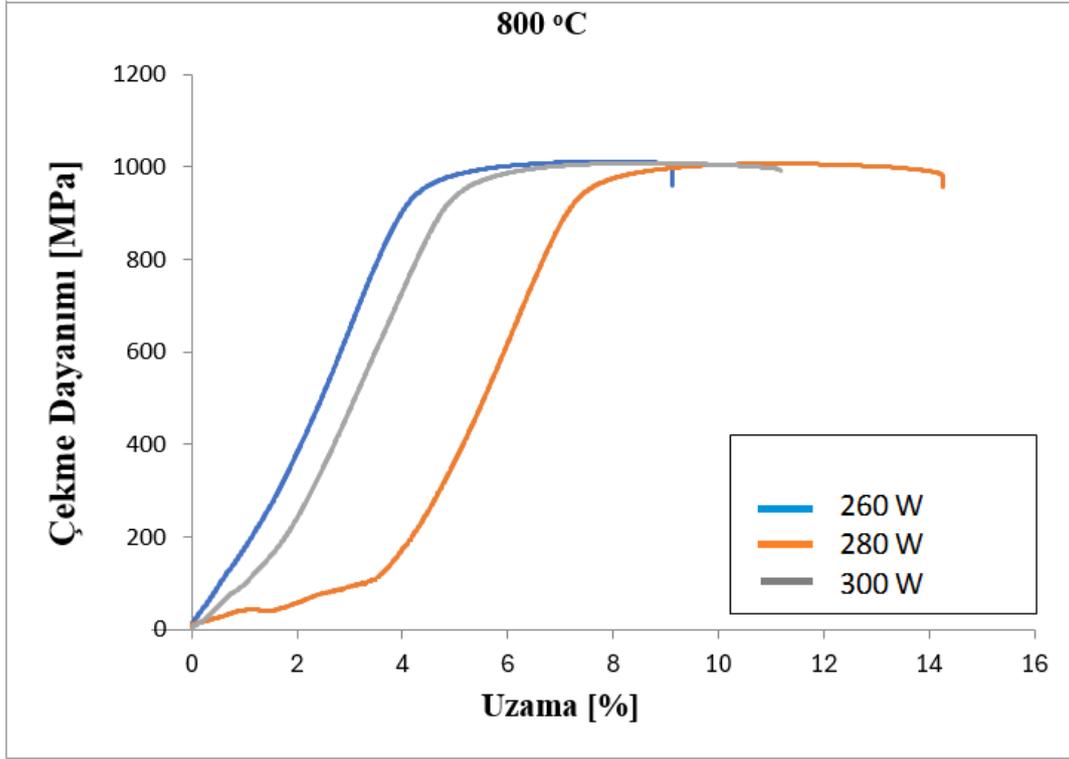
Her bir ısıl işlem parametresi için farklı enerji yoğunluklarında üretilen numunelerin çekme grafikleri Görsel 3-5'de gösterilmiştir. Çekme sonrası numunelerin görüntüsü Görsel 6'da gösterilmiştir.



Görsel 3. 970 °C ısıt işlem uygulanan numunelerin çekme test sonucu



Görsel 4. 540 °C ısıt işlem uygulanan numunelerin çekme test sonucu



Görsel 5. 800 °C ısıtma işlemi uygulanan numunelerin çekme test sonucu



Görsel 6. Çekme test sonrası numunelerin görüntüsü

Çekme sonuçları incelendiğinde her bir ısıtma sıcaklığı için birleştirmede kullanılan enerji yoğunluğunun sonucu değiştirdiği görülmektedir. Sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde, 540 °C sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulanan numunelere bakıldığında optimum çekme ve akma dayanım değerinin 260 W güç kullanılarak birleştirilen numunede olduğu görülürken, optimum yüzde

uzama miktarının ise 300 W güç değerinde birleştirilen numunede olduğu görülmektedir. 540 °C ısıtma işlemi ve 260 W gücünde birleştirilen numuneden ortalama 1192,568 MPa akma dayanımı, 1201,777 MPa çekme dayanımı ve %3,919714 uzama değeri ile elde edilmiştir. Dolayısıyla üretim sırasında kullanılan enerji yoğunluğu arttıkça malzeme çekme dayanımı bir miktar düşüş gösterse de yüzde uzama miktarının artış gösterdiği belirlenmiştir.

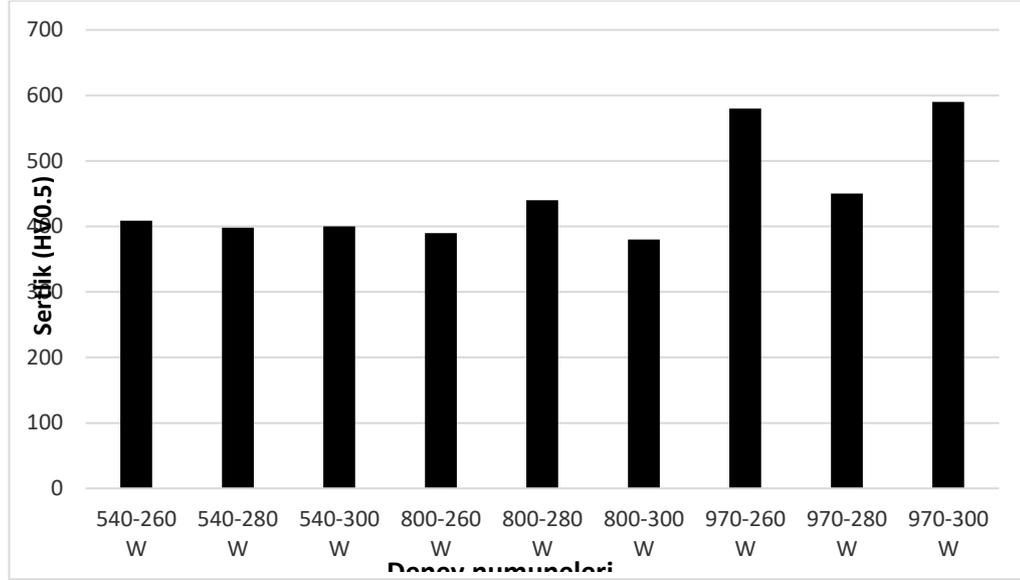
Isıl işlem sıcaklığının artması ile ise bu durum tam tersi olarak, daha yüksek olan 300 W güç değerinde birleştirilen numune çekme ve akma dayanımının, diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi olarak numune mikroyapısındaki değişimler ve Widmanstätten morfolojisine bağlı olarak yüksek sertlik değerlerinde meydana gelen yapını etkisi olduğu düşünülmektedir. Isıl işlem sıcaklığının 540 °C'den 800 °C'ye artmasıyla birlikte; çekme 1200 MPa'dan 1000 MPa'ya düşüş göstermiş ancak yüzde uzama miktarı yaklaşık %28'lik bir artış göstermiştir.

Her bir deney parametresi için üretilen numunelerden 4'er adet mikrosertlik alınarak ortalama mikrosertlik değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 'de verilmiştir.

Çizelge 4. Deney numunelerinin mikrosertlik ölçüm sonuçları

Numune	Ortalama Sertlik değeri (HV _{0.5})
540-260 W	409 ±5
540-280 W	400 ±5
540-300 W	398 ±5
800-260 W	390 ±5
800-280 W	440 ±5
800-300 W	380 ±5
970-260 W	580 ±5
970-280 W	450 ±5
970-300 W	590 ±5

Çizelge 4'de verilen değerlerden oluşturulan sertlik grafikleri ise Görsel 7'de gösterilmiştir.



Görsel 7. Her bir deney parametresi için mikrosertlik grafiği

Çizelge 4 ve Görsel 7’den görüldüğü üzere ısı işlem sıcaklığı 970 °C olan numunelerin sertlikleri mikroyapısal değişimler göstererek Widmanstätten martenzit formunda oluştuğu düşünüldüğünden sertlik değeri diğer sıcaklıklara göre oldukça yüksek tespit edilmiştir. 540 °C de yapılan sertlik analizleri bakıldığında işlem parametrelerinin (ısı yoğunluğunun) sertlik üzerinde belirgin bir değişim meydana getirmediği görülmekle birlikte parametre gücü 260W ‘dan 300W’a doğru arttıkça sertliğin az da olsa bir miktar düşüş gösterdiği görülmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışmada, farklı enerji yoğunluklarında ve farklı ısı işlem parametrelerinde Ti6Al4V malzemeler eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin başarılı olup olmadığının belirlenmesi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca numunelerin sertlik ölçümleri de belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular sırasıyla sunulmuştur.

1. Ti6Al4V numunelerin SLM yöntemi ile eklemeli imalatı başarı ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerde herhangi bir çatlak, hasar, boşluk vs. meydana gelmediği tespit edilmiştir.
2. Çekme test sonuçlarına göre, 540 °C ısı işlem uygulanan numuneler arasında optimum çekme dayanımına sahip numune 260 W gücünde birleştirilen numuneden ortalama 1192,568 MPa akma dayanımı, 1201,777 MPa çekme dayanımı ve %3,919714 uzama değeri ile elde

edilmiştir. 800 °C ısıtıl işlem uygulanan numuneler arasında optimum çekme dayanımına sahip numune 260 W gücünde birleştirilen numuneden ortalama 993,670MPa akma dayanımı, 1011,32MPa çekme dayanımı ve %4,04768 uzama değeri ile elde edilmiştir. 970 °C ısıtıl işlem uygulanan numuneler arasında optimum çekme dayanımına sahip numune 300 W gücünde birleştirilen numuneden ortalama 848,4069MPa akma dayanımı 849,1582MPa çekme dayanımı ve %2,17158 uzama değeri elde edilmiştir.

3. Sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 970 °C ısıtıl işlem sıcaklığında 300W parametre gücünde üretilen numuneden 590 HV_{0.5} olarak elde edildiği görülmektedir. 540 °C de yapılan sertlik analizleri bakıldığında işlem parametrelerinin (enerji yoğunluğunun) sertlik üzerinde belirgin bir değişim meydana getirmediği görülmekle birlikte parametre gücü 260W ‘dan 300W’a doğru arttıkça sertliğin az da olsa bir miktar düşüş gösterdiği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “KBÜBAP-25-DS-047” proje numarası ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı BAP koordinasyonuna teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Sahai, N., Saxena, K.K., Gogoi, M. Modelling and simulation for fabrication of 3D printed polymeric porous tissue scaffolds. Adv Mater Process Technol. 6(03): 1–10, 2020.
- [2] Yoo CJ, Shin BS, Kang BS, et al. A study on a new 3D porous polymer printing based on EPPbeads containing CO₂ gas. Procedia Eng. 184:10–15, 2017.
- [3] Kim JH, Kim MY, Knowles JC, et al. Mechanophysical and biological properties of a3D-printed titanium alloy for dental applications. Dent. Mater. 36:945–958, 2020.
- [4] Wang J, Luo Q, Wang H, et al. Microstructure characteristics and failure mechanisms ofTi-48Al-2Nb-2Cr titanium aluminide intermetallic alloy fabricated by directed energy deposition technique. Addit. Manuf. 32:101007, 2020.

- [5] Mehboob H, Tarlochan F, Mehboob A, et al. A novel design, analysis and 3D printing of Ti-6Al-4V alloy bio-inspired porous femoral stem. *J Mater Sci.*, 31:1–14, 2020.
- [6] Guleryuz H, Cimenoglu H. Oxidation of Ti-6Al-4V alloy. *J Alloys Compd.* 472:241–246, 2009.
- [7] Barui S, Chatterjee S, Mandal S, et al. Microstructure and compression properties of 3D powder printed Ti-6Al-4V scaffolds with designed porosity: experimental and computational analysis. *Mater Sci Eng C.* 70:812–823, 2017.
- [8] Zhuang J-R, Lee Y-T, Hsieh W-H, et al. Determination of melt pool dimensions using DOE-FEM and RSM with process window during SLM of Ti6Al4V powder. *Opt Laser Technol.*, 103:59–76, 2018.
- [9] Ran Q, Yang W, Hu Y, et al. Osteogenesis of 3D printed porous Ti6Al4V implants with different pore sizes. *J Mech Behav Biomed Mater.*;84:1–11, 2018.
- [10] Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos Part B Eng.* 143:172–196.882, 2018.
- [11] Wang Z, Wang C, Li C, et al. Analysis of factors influencing bone ingrowth into three-dimensional printed porous metal scaffolds: a review. *J Alloys Compd.*, 717:271–285, 2017.
- [12] Mahamood RM, Akinlabi ET. Scanning speed influence on the microstructure and microhardness properties of titanium alloy produced by laser metal deposition process. *Mater Today Proc.* 4:5206–5214, 2017.
- [13] Vaithilingam J, Goodridge RD, Hague RJ, et al. The effect of laser remelting on the surface chemistry of Ti6Al4V components fabricated by selective laser melting. *J Mater Process. Technol.* 232:1–8, 2016.
- [14] Dutta B, Froes FS. The Additive Manufacturing (AM) of titanium alloys. *Metal Powder Report.*, 72:96–106, 2017.
- [15] Yaşar, S., Ti6Al4V Alaşımının Eklemeli imalat Yöntemiyle Üretiminde İşlem Parametreleri Değişiminin Tribolojik Özelliklere Etkisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2023.
- [16] Yuan, L., Ding, S., Wen, C. Additive manufacturing technology for porous metal implant applications and triple minimal surface structures: A review. *Bioactive Materials*, 4(1), 56-70, 2019.
- [17] Bici, M., Brischetto, S., Campana, F., Ferro, C. G., Seclì, C., Varetto, S., Maggiore, P., Mazza, A., Development of a multifunctional panel for aerospace use through SLM additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 67, 215-220, 2018.
- [18] Bian, L., Shamsaei, N., Usher, J. M. Laser-Based Additive Manufacturing of Metal Parts. *Modeling, Optimization, and Control of Mechanical Properties*, 148, 2017.

- [19] Khan, H.M., Seçici lazer ergitme yöntemiyle metal alaşımlarında mikrokanal üretiminin deneysel ve sayısal incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2019.
- [20] Buchbinder, D., Schleifenbaum, H., Heidrich, S., Meiners, W., Bültmann, J. High power selective laser melting (HP SLM) of aluminum parts, Physics Procedia, 12, 271–278, 2011.
- [21] Casalino, G., Campanelli, S. L., Contuzzi, N., Ludovico, A. D. “Experimental investigation and statistical optimization of the selective laser melting process of a maraging steel”, Optics & Laser Technology, 65, 151-158, 2015.
- [22] Liu, A., Chua, C.K., Leong, K.F. Properties of test coupons fabricated by selective laser melting. In Key Engineering Materials. Trans Tech Publ., 2010.

YENİ NESİL FİLTRELEME YAKLAŞIMI İLE BULAŞIK MAKİNESİ YIKAMA PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

Optimization of Dishwasher Washing Performance with a Next-Generation Filtration Approach

E&P Test Specialist, Onur TURHAN

RENTA ELEKTRİKLİ EV ALETLERİ SAN.VE DIŞ.TİC.LTD.ŞTİ
Washing R&D Center
onur.turhan@haier-europe.com - 0000-0002-6664-3389

Project Patent and Incentive Specialist, Sinem PALA

RENTA ELEKTRİKLİ EV ALETLERİ SAN.VE DIŞ.TİC.LTD.ŞTİ
Washing R&D Center
sinem.pala@haier-europe.com - 0009-0005-0599-1047

Özet

Bu çalışma, bulaşık makinelerinde yıkama performansını artırmaya yönelik olarak geliştirilen yeni nesil bir su yönlendirme ve filtreleme çözümünü ele almaktadır. Sump bölgesinde yer alan basınç yönlendirici parça yeniden tasarlanmış ve bu yapıya farklı mikron boyutlarında filtreler entegre edilmiştir. Bu sayede suyun püskürtücü kollara daha temiz iletilmesi sağlanmış, nozulların tıkanma riski azaltılmış ve püskürtme verimi artırılmıştır. EN 60436 standardına uygun laboratuvar testleri sonucunda, uzun süreli kullanımda daha kararlı ve yüksek yıkama performansı elde edildiği gözlemlenmiştir. Geliştirilen çözüm hijyenik, uzun ömürlü ve üretim açısından avantajlı bir yapı sunmakta olup, ilgili tasarım için patent başvurusu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulaşık Makinesi, Yıkama Performansı, Filtre Entegrasyonu

Abstract

This study presents a next-generation water directing and filtration solution designed to enhance washing performance in dishwashers. The pressure-directing component located in the sump region has been redesigned, integrating filters of various micron sizes into its structure. This integration ensures cleaner water delivery to the spray arms, reducing nozzle clogging risk and improving spray efficiency. Laboratory tests conducted according to the EN 60436 standard demonstrated stable and improved washing performance during long-term operation. The developed solution offers a hygienic, durable, and production-efficient structure, and a patent application for the design has been filed.

Keywords: Dishwasher, Washing Performance, Filter Integration

1. Giriş

Bulaşık makinelerinde uzun süreli kullanım sürecinde su içerisindeki partiküller, püskürtücü nozullarda tıkanmalara yol açmakta, bu da suyun spray kollarına ulaşmasını engelleyerek yıkama performansını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu tıkanmalar sadece temizlik kalitesini bozmakla kalmaz; aynı zamanda, daha uzun yıkama döngüleri, tekrar yıkama ihtiyacı ve güç tüketiminin artması gibi yan etkileriyle kullanıcı memnuniyetini olumsuz etkiler ve enerji-su verimliliği açısından sürdürülebilirlik hedefleriyle çelişir. Avrupa Komisyonu'nun Ecodesign ve Energy Labelling çerçevesinde belirlediği sürdürülebilirlik hedefleri, enerji ve su verimliliğinin artırılmasını ve çevresel etkilerin azaltılmasını öncelikli konular olarak ele almaktadır [1]. Bu nedenle, bulaşık makinelerinde suyun yeniden kullanımı ve filtrasyonun iyileştirilmesi yönündeki araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Literatürde, bulaşık makinelerinin temizlik performansını etkileyen faktörler arasında suyun sertliği, deterjan çeşidi, yük ve soyağın derecesi gibi değişkenler sıklıkla incelenmiştir; örneğin sert suyun organik ve inorganik lekelerin giderilmesini zorlaştırdığı, film ve leke oluşumunu artırdığı gözlemlenmiştir [2]. Ayrıca, makine performansının standart testler ve gerçek kullanım koşulları arasında farklılık gösterdiği yönünde çalışmalar vardır; otomatik programa sahip bulaşık makinelerinin değişen kir ve yük koşullarına tepki verebilme yeteneğinin standart test prosedürleriyle tam örtüşmediği bildirilmiştir [3]. Ek olarak, su akışının içerisindeki partikül birikimi ve nozzle geometri tasarımlarının nozül tıkanmalarına etkisi üzerine yapılan hidrodinamik analizler göstermiştir ki, deflektör ve yönlendiricilerin (flow-deflectors) varlığı tıkanmayı azaltabilmektedir [4]. Ayrıca, Garnier ve çalışma arkadaşları, gıda işleme endüstrisinde suyun yeniden kullanımına yönelik yaptıkları incelemede, basınç odaklı filtreleme ve membran sistemlerinin suyun kalitesini korumada ve sistem verimliliğini artırmada kritik rol oynadığını belirtmiştir. Bu yaklaşım, benzer şekilde bulaşık makinelerinde dolaşan suyun temizliğini korumak açısından da önemli bir temel oluşturmaktadır [5]. Ancak, bu tür tıkanma kontrolü genellikle nozül girişine ya da su akışı yollarına yönelik tasarım değişiklikleriyle sınırlıdır; sump bölgesi, basınç yönlendirici gibi suyun spray kollarına iletilmeden önce filtrelenebileceği bir alan olarak az çalışılmış bir bölgedir. Ayrıca, EN 60436 standart, bulaşık makinelerinin yıkama ve kurutma performansını, genel koşullar altında ölçer; ancak sump filtresine özel test koşulları veya filtre etkisini izole eden deneysel çalışmalar azdır [6,7]. Bu eksiklikler, suyun yönlendirilmesi ve partikül filtrasyonu üzerine odaklanan, filtre entegreli basınç yönlendirici parçanın geliştirilmesinin hem akademik hem endüstriyel açıdan yenilikçi ve ihtiyaç duyulan bir katkı olacağını göstermektedir.

2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında, bulaşık makinesinin sump bölgesinde yer alan basınç yönlendirici parça yeniden tasarlanmıştır. Bu parça, suyun devir daim sisteminde püskürtücü kollara iletilmeden önce yönlendirilmesinden ve akış dengesinin korunmasından sorumludur. Mevcut tasarımda filtreleme fonksiyonu bulunmamakta olup, bu eksiklik nozullarda partikül birikimine ve uzun vadede yıkama performansında düşüşe yol açmaktadır.

Tasarım sürecinde öncelikle akış simülasyonları (CFD – Computational Fluid Dynamics) kullanılarak, suyun akış yönü, hız dağılımı ve basınç kayıpları analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, geometrik optimizasyon yapılarak akış verimliliğini artıracak bir yapı elde edilmiştir. Yeni tasarımda:

- Parça geometrisi, türbülansı azaltacak ve akışın homojen dağılmasını sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.
- Suyun içerisinde dolaşan partikülleri tutmak amacıyla, farklı mikron değerlerine sahip filtreler test edilmiştir.
- Üretim süreci açısından tek parça yapıda, hijyenik ve uzun ömürlü bir malzeme seçilmiştir. Bu yapı, hem kalıp maliyetini azaltmakta hem de montaj kolaylığı sağlamaktadır.
- Filtrenin kolay temizlenebilmesi için modüler bir tasarım prensibi benimsenmiştir.
- Tasarım tamamlandıktan sonra, geliştirilen prototipler laboratuvar ortamında EN 60436 standardına uygun olarak test edilmiştir. Testlerde mevcut filtresiz tasarım referans alınmış ve yeni filtreli tasarım ile karşılaştırmalı performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Deneylerde “Chinaware (Porselen)”, “Glasses (Bardak)” ve “Cutlery (Çatal-Bıçak)” olmak üzere üç farklı yük tipi kullanılmıştır. Bu yükler, bulaşık makinelerinde yıkama performansını temsil eden standart kombinasyonlardır. Yıkama işlemleri sonrasında numuneler üzerinde kir kalıntısı, parlaklık ve lekelenme kriterleri değerlendirilmiştir. Ayrıca püskürtme kolları üzerinde tıkanma gözlemleri yapılmış ve suyun yeniden dolaşımı sırasında partikül birikimi analiz edilmiştir.

Tüm testler aynı çevresel koşullarda (25 ± 2 °C oda sıcaklığı ve 50 ± 5 % bağıl nem) yürütülmüş, testlerde kullanılan su sertliği 22.1 F°S olacak şekilde ayarlanmıştır. Ölçümler, hem sayısal performans göstergeleri hem de gözlemsel değerlendirmeler ile desteklenmiştir.

Elde edilen veriler, yeni filtreli tasarımın püskürtme nozullarındaki tıkanma riskini azalttığını göstermiştir. Bu yönetsel yaklaşım, hem mekanik verimliliği artıran hem de uzun süreli performans kararlılığı sağlayan bir çözümün geliştirilmesine olanak tanımıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Yıkama Performansı					
Porselen	Bardak	Çatal-Bıçak Takımı	Temizlik Puanı	Temizlik Performansı	Durum
3,52	3,08	4,52	3,89	1,108	Mevcut
3,59	3,38	4,53	3,99	1,102	Mevcut
4,04	2,54	4,46	4,01	1,123	Prototip
4,11	3	4,48	4,01	1,122	Prototip

Tablo 1: Yıkama Performans Tablosu

Test sonuçlarına göre (Tablo 1), prototip olan filtreli tasarımın temizlik performansında %2'ye kadar artış, nozul tıkanma riskinde ise belirgin azalma sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, uzun süreli kullanım testlerinde sistemin kararlı performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, entegre filtre yapısının hem yıkama verimliliğini hem de sürdürülebilirliği desteklediğini ortaya koymaktadır.

Filtreli yapı sayesinde, suyun püskürtücü kollara iletilmeden önce partiküllerden arındırılması sağlanmış, böylece nozulların tıkanma frekansı önemli ölçüde düşmüştür. Test sürecinde yapılan basınç ölçümleri, püskürtme kollarına ulaşan suyun akış kararlılığının arttığını ve sistemin uzun süreli döngülerde dahi basınç kaybı yaşamadığını göstermiştir. Bu durum, yıkama döngüsü boyunca suyun dağılımının daha dengeli olmasına ve temizlik etkinliğinin artmasına katkı sağlamıştır.

4. Sonuç

Bu çalışma genel olarak değerlendirildiğinde, filtre entegreli basınç yönlendirici tasarımın:

- Nozul tıkanmalarını önleyerek uzun vadeli performans kararlılığı sağladığı,
- Yıkama etkinliğini artırarak kullanıcı memnuniyetine katkı sunduğu,
- Suyun daha temiz biçimde dolaşmasını sağlayarak sistem verimliliğini yükselttiği,
- Enerji ve su tüketimi açısından sürdürülebilirliği desteklediği belirlenmiştir.

Bu kapsamda, çalışmanın hem akademik hem de endüstriyel uygulama açısından yenilikçi bir çözüm sunduğu değerlendirilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, farklı filtre mikron değerlerinin ve akış yönlendirme geometrilerinin kombinasyonları üzerinde durularak, sistem performansının daha da optimize edilmesi planlanmaktadır.

İlgili tasarım için Temmuz 2025 tarihinde patent başvurusu yapılmış olup, çözümün fikri mülkiyet koruması altına alınması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1] European Commission. (2020). Ecodesign and Energy Labelling: Case study on dishwashers. Brussels: Publications Office of the European Union
- [2] Tewes, T. J., Harcq, L., & Bockmühl, D. P. (2023). Use of automatic dishwashers and their programs in Europe with a special focus on energy consumption. *Clean Technologies*, 5(3), 1067-1079.
- [3] Brückner, A., & Stamminger, R. (2015). Consumer-relevant assessment of automatic dishwashing machines by a new testing procedure for 'automatic' programmes. *Energy Efficiency*, 8(1), 171-182.
- [4] Gutiérrez, E., Barreto, J. D. J., Garcia-Hernandez, S., Morales, R., & González-Solorzano, M. G. (2020). Decrease of nozzle clogging through fluid flow control. *Metals*, 10(11), 1420.
- [5] Garnier, C., Guiga, W., Lameloise, M. L., & Fargues, C. (2023). Water reuse in the food processing industries: A review on pressure-driven membrane processes as reconditioning treatments. *Journal of Food Engineering*, 344, 111397.
- [6] Alt, T., Boivin, D., Altan, M., Kessler, A., Schmitz, A., & Stamminger, R. (2023). Exploring consumer behaviour in automatic dishwashing: A quantitative investigation of appliance usage in six European countries. *Tenside Surfactants Detergents*, 60(2), 106-116.
- [7] U.S. Department of Energy. (2023, January 18). Energy conservation program: Test procedure for dishwashers. *Federal Register*, 88(11), 2843–2862.

A SCIENTIFIC AND ANALYTICAL STUDY ON CZTS SOLAR CELLS PREPARED BY THE PLD TECHNIQUE

Yousef Adwan

¹Department of Physics, Faculty of Science, University of Selcuk, Konya, Turkey,
yousefadwan1992@gmail.com-0009-0008-6886-3810

Associate Prof.Dr. Serap YİĞİT GEZGİN

²Department of Physics, Faculty of Science, University of Selcuk, Konya, Turkey,
serap.gezgin@selcuk.edu.tr-0000-0003-3046-6138

Prof.Dr. Hamdi Şükür KILIÇ

³Department of Metallurgy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, University of
Dokuz Eylul, İzmir, Turkey,
hamdisukur.kilic@deu.edu.tr-0000-0002-7546-4243

ABSTRACT

Copper–Zinc–Tin Sulfide (CuZnSnS, CZTS) thin-film solar cells are among the most promising alternatives in the field of renewable energy due to their composition of earth-abundant and non-toxic elements, making them favorable compared to CdTe and CIGS compounds. In this study, some differences between CZTS thin film solar cells and CZTS/n-Si heterojunction solar cells are revealed. The importance of the PLD system in CZTS thin film production is emphasized. This study explains the mechanism of using Pulsed Laser Deposition (PLD) technique for the synthesis of Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) thin films. PLD stands out because it enables the stoichiometric and efficient transfer of the target material onto the substrate surface. The prepared thin films can be analyzed using advanced characterization techniques such as X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy, and field emission microscopy (FEM) to determine their crystal structure and morphological properties. The results demonstrate that the precise control of these parameters significantly enhances the crystallinity, optical characteristics, and electrical properties of the films.

Keywords: CZTS, PLD, Thin film, Solar cell.

1. INTRODUCTION

In renewable energy research, there has been a growing interest in second-generation solar cells, particularly those based on thin-film technology, due to their potential to reduce production costs and

enhance efficiency. These cells can effectively absorb a large portion of the incident electromagnetic spectrum using only a 2 μm -thick photovoltaic layer, thanks to the high optical absorption coefficient of their active materials. This significant reduction in cell thickness decreases the amount of material required, thereby substantially lowering production costs. In contrast, first-generation solar cells are silicon-based and have a low absorption coefficient, requiring at least a 200 μm -thick layer to absorb sufficient solar radiation. Consequently, the production costs of first-generation solar cells are higher compared to second-generation ones [1, 2].

Despite the numerous advantages of second-generation solar cells, these devices are primarily based on heterogeneous polycrystalline thin films. This crystalline structure introduces several challenges, such as the presence of grain boundaries, carrier recombination at these boundaries, structural defects, and chemical inhomogeneities. These issues become particularly pronounced during the formation of P–N junctions. Such factors adversely affect the photoelectrical performance of the cells, leading to a decrease in carrier collection efficiency and a reduction in overall energy conversion efficiency. As a result, the highest efficiency achieved for this type of solar cell so far is approximately 25% [3].

As a result of ongoing research, significant progress has been achieved in the development of second-generation solar cells, allowing these devices to establish a strong presence in the commercial market. Cadmium Telluride (CdTe) and Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) have emerged as the most widely used compounds in this generation of solar cells. CdTe-based solar cells have reached an efficiency of approximately 22.1%, while CIGS-based cells have achieved around 22.9%. These values highlight the high potential of such materials as viable alternatives to silicon-based first-generation technologies [3].

Although second-generation compounds such as CdTe and CIGS have achieved relatively high conversion efficiencies, several limitations restrict their large-scale application. The elements Ga, Te, and In are relatively scarce in the Earth's crust, raising long-term concerns regarding sustainability and cost. Furthermore, the Cd and Se elements possess toxic properties, posing potential risks to both human health and the environment [4]. Building on these challenges, recent research has focused on developing alternative materials based on more abundant and less toxic elements that can retain the essential properties required for photovoltaic applications. The $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) compound has emerged as a promising and efficient alternative to the compounds used in second-generation solar cells. This is primarily because, although its crystal structure is similar to that of CIGS, the indium (In) and gallium (Ga) elements in the cation sublattice are replaced by zinc (Zn) and tin. This chemical substitution ensures that CZTS consists only of earth-abundant and non-toxic elements. Therefore, due to its environmentally friendly nature and large-scale applicability, CZTS stands out as a strong

candidate for photovoltaic technologies. Moreover, its tunable band gap between 1–1.5 eV and excellent light absorption properties further enhance its photovoltaic performance [5-7].

Fundamentally, the crystal structure of the $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) compound is derived from that of the ZnS lattice. In this structure, the sulfide anions (S^{2-}) remain fixed within the lattice, while the zinc cations (Zn^{2+}) are substituted by copper (Cu^+) and tin (Sn^{4+}) cations from different sites. These cation substitutions ensure the preservation of electrical neutrality and structural stability within the crystal lattice. [8-10]. As illustrated in the figure below:

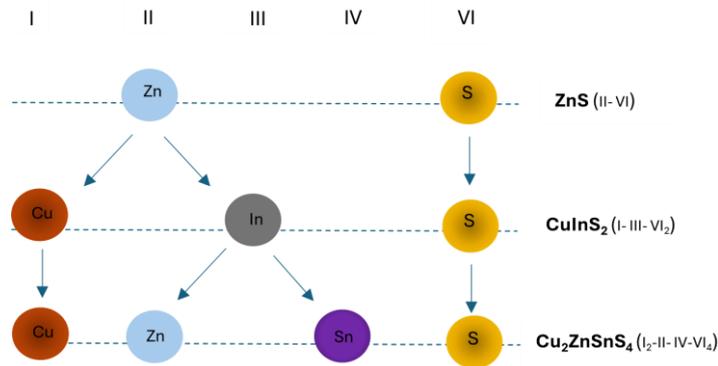


Figure 1. Cation substitution sequence in ZnS leading to the formation of CZTS.

2. Synthesis of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) Thin-Film Solar Cells Using the PLD Technique

2.1. Structural Properties of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) Thin-Film Solar Cells

The basic structure of a thin-film solar cell consists of a multilayer arrangement sequentially positioned between the back and front electrodes. 2 mm-thick soda-lime glass serves as the supporting substrate, on which a Molybdenum (Mo) layer is deposited to function as the back electrode. The p-type absorber layer (CZTS) is placed directly on the Mo layer, followed by an n-type buffer layer (CdS). A high-resistivity transparent intrinsic (i-type) window layer (e.g., ZnO) is then added. Finally, a transparent conductive oxide (TCO) layer doped with aluminum, such as ZnO:Al or ITO, is deposited. The TCO layer contacts the top grid electrode, completing the functional structure of the solar cell [11]. This structure is illustrated in the figure below:

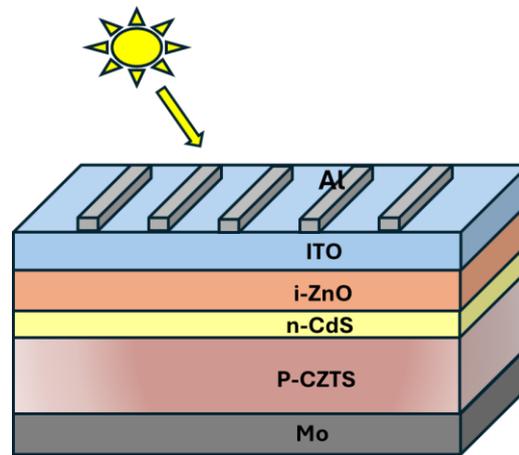


Figure 2. The fundamental structure of a CZTS thin-film solar cell, showing the layer sequence from the glass substrate to the top grid electrode.

Mo metal is a suitable choice for the back contact in thin-film solar cells due to its low specific resistivity ($15 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$), high melting point, chemical stability, and excellent adhesion to both the soda-lime glass substrate and the CZTS thin-film layer [12]. The p-type CZTS absorber layer is deposited to a thickness of approximately 1000 nm to ensure efficient absorption of incident photons and the generation of a sufficient number of charge carriers, predominantly holes [13]. The n-type buffer layer deposited above the absorber layer forms the p–n junction with the CZTS layer. Within the CZTS semiconductor thin film, electrons that are excited upon photon absorption diffuse toward the space-charge (depletion) region, whereas the photogenerated holes are driven toward the molybdenum (Mo) back contact, contributing to the overall charge separation and current generation in the device.

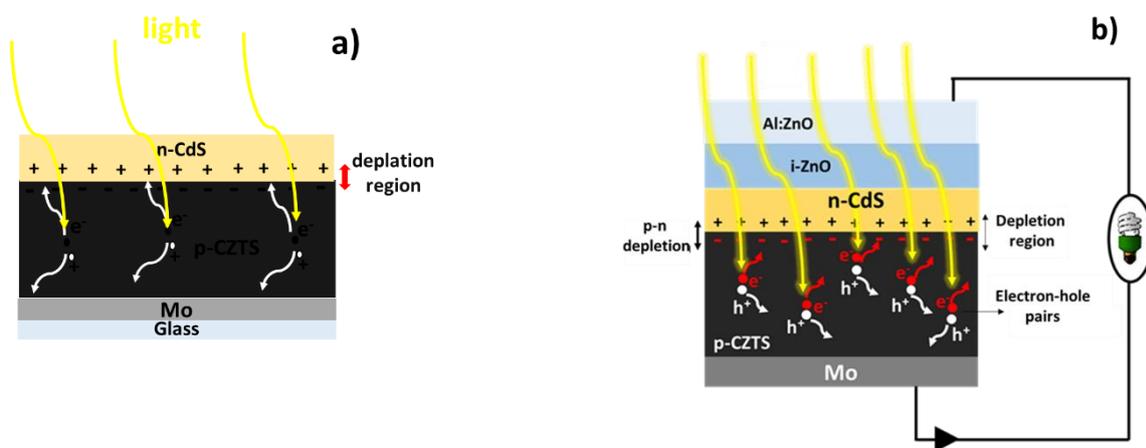


Figure 3. a) Formation of photoexcited charge carriers in CZTS semiconductor and b) charge flow in external circuit of the CZTS thin film solar cell

CdS is considered one of the most suitable n-type buffer layers due to its low resistivity, high photon transparency, and the presence of sulfur (S), which helps reduce defect density at the CZTS/buffer interface.

Above the buffer layer lies a high-resistivity transparent layer, the i-ZnO layer. This layer limits the transfer of hole carriers to the transparent conductive oxide (TCO) layer, preventing short-circuiting and enabling a higher open-circuit voltage (V_{oc}) [14]. The TCO layer (e.g., ITO or Al:ZnO) facilitates both the collection of charge carriers and the transmission of approximately 90% of incident light (in the 400–1000 nm wavelength range) to the absorber layer [15].

Finally, as illustrated in the figure, a grid structure made of aluminum (Al) is used as the front contact. This grid is optimally designed to minimize light loss while efficiently collecting charge carriers. Depending on design and performance requirements, alternative metals can also be employed for the front contact [16].

2.2. Fabrication of CZTS Thin Films Using the Pulsed Laser Deposition (PLD) Technique

Thin-film fabrication methods vary between physical and chemical techniques, and their efficiency depends on factors such as deposition rate, processing time, material and energy consumption, as well as the nature of the processing conditions (vacuum or non-vacuum environment) [10]. Pulsed Laser Deposition (PLD) is an important physical method commonly used in vacuum chambers, and it is fundamentally based on transferring material from a solid target with a compound structure to the substrate in a stoichiometric manner using laser pulses [17, 18]. As shown in Figure 3:

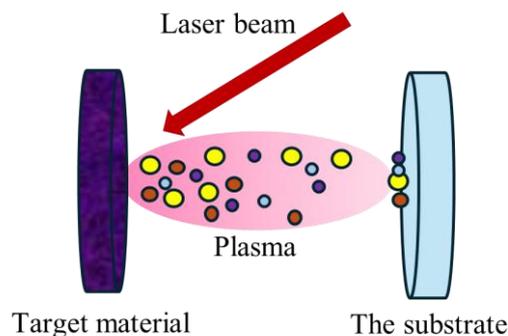


Figure 4. The evaporation process occurs as the target material absorbs the laser energy, and the resulting plasma flux is transferred onto the substrate to form a thin film.

A typical PLD system consists of two rotatable holders inside a vacuum chamber—one holding the target and the other holding the substrate. The system allows for background gas and pressure control over a wide range (approximately 10^{-7} - 1 mbar). The process begins by evacuating the chamber and setting the appropriate gas environment. Then, a laser pulse from outside the chamber is focused onto the target surface through a window, initiating the ablation process. During this process, atoms and molecules ejected from the target are directed toward the substrate at specific angles and densities, forming thin films with thicknesses ranging from nanometers to several micrometers. For CZTS thin-film synthesis, the film formation requires higher temperatures than those provided during deposition. Therefore, post-deposition annealing in a sulfur-rich environment is necessary to achieve the desired crystal structure and properties [19, 20].

One of the most significant advantages of the PLD technique is that the deposited film typically retains the same stoichiometric chemical composition as the target. This ensures the preservation of the material's intrinsic optical and electrical properties. Additionally, the technique allows for extensive control over parameters such as laser energy (e.g., up to tens of mJ), pulse number, gas pressure, type of reactive gas (for oxide or nitride formation), and the target-to-substrate distance [21]. The process can be carried out at room temperature, and various types of substrates such as glass or silicon can be used. However, the method has certain disadvantages. High-energy laser pulses can cause surface damage and cracking in the target material, which is considered one of the significant limitations of PLD.

2.3. Growth of p-CZTS Thin Films on n-Si Silicon Wafers Using the PLD Technique

The conventional structure of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) thin-film solar cells is typically designed as follows: Al/ITO/i-ZnO/n-CdS/p-CZTS/Mo/Glass. Despite its simple architecture, this structure has certain limitations and drawbacks [21]. These can be summarized as follows:

- a) Toxicity problem: The n-CdS layer used to form the p–n junction is based on cadmium sulfide. Cadmium is highly toxic and poses serious environmental and health risks.
- b) Formation of an unwanted insulating layer: At high sulfurization temperatures, a MoS_2 layer can form between the Mo and CZTS layers. This layer creates series resistance that hinders the transport of charge carriers from the absorber layer to the back contact.

- c) Interdiffusion of thin-film layers: During annealing or high-temperature processes, unwanted diffusion and merging can occur between layers. This leads to interfacial defects, reducing the solar cell's efficiency.
- d) Surface chemical treatments: After deposition of the CZTS absorber layer, KCN solution is commonly used to remove copper-rich secondary phases (CuS, Cu₂S). However, this process can damage the thin film's surface, create undesirable surface voids and negatively impacting device performance.

To overcome these limitations, n-type silicon (n-Si) wafers may be implemented in place of the conventional n-CdS layer. Utilizing silicon wafers as the buffer layer provides multiple scientific and practical benefits.

- a) Non-toxicity: Silicon is a naturally abundant and non-toxic element.
- b) Cu₂ZnSnS₄ crystallizes in a kesterite-type tetragonal structure with lattice parameters $a = 0.5427$ nm and $c = 1.0848$ nm. In comparison, silicon exhibits a diamond cubic crystal structure with a lattice constant of $a = 0.5430$ nm. The minimal lattice mismatch along the a-axis—approximately 0.06%—between CZTS and Si significantly facilitates lattice matching at the interface. As a result, single-crystal Si wafers serve as highly suitable substrates for the epitaxial growth of CZTS thin films, promoting coherent growth, reducing dislocation density, and potentially enhancing the structural and electronic quality of the resulting heterojunction [21].

Using a Pulsed Laser Deposition (PLD) system, CZTS thin films with thicknesses ranging from 50 nm to 1000 nm can be deposited onto silicon wafers. The fabrication of CZTS thin films with optimal crystallographic quality and controlled thickness enhances the minority carrier lifetime within the film, which in turn increases charge accumulation in the depletion region. This improved charge separation and collection efficiency contribute significantly to the overall enhancement of the photovoltaic performance of the solar cell.

In order to achieve high efficiency in CZTS/Si heterojunction solar cells, both the front and back contacts must exhibit ohmic behavior. For the n-type Si wafer, the formation of an ohmic back contact requires ($\Phi_S > \Phi_M$) condition, whereas for the CZTS semiconductor, the front contact must satisfy ($\Phi_M > \Phi_S$) condition to ensure ohmic behavior[19]. Therefore, low work function metals such as Al, Ag, Cr can be used for the back contact, while high work function metals such as Mo, Au, Ni, C are suitable for the front contact. Consequently, the solar cell structure is arranged as Back Contact (Al, Ag, Cr) /n-Si/p-CZTS/Front Contact (Mo, Au, Ni, C) [22, 23] , as illustrated in Figure 4.

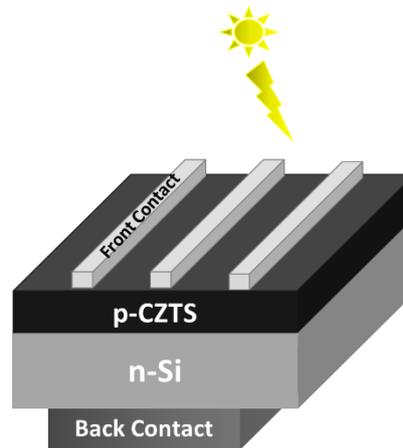


Figure 5. Structure of the Back Contact/n-Si/p-CZTS/Front Contact solar cell.

2.4. Analyses

To determine the properties of the film formed during the deposition process, the film is subjected to a series of systematic analyses. These examinations include characterization of the crystal structure and precise measurement of the film thickness. Various analytical techniques are employed for the characterization of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) thin films. Among these, X-ray diffraction (XRD) stands out, as it enables the determination of the material's crystal structure by analyzing the diffraction of incident rays interacting with atoms in the crystal lattice. The successful formation of CZTS thin films is confirmed by the observation of the (220), (200), and (112) planes. The Atomic Force Microscope (AFM) is employed to perform high-resolution topographical scanning of the surface, generating a three-dimensional image of the surface through the interaction of a sharp probe with the sample and the use of a laser beam. Additionally, the Scanning Electron Microscope is used to analyze the surface morphology of thin films, providing detailed insight into the microscopic structure by directing a focused electron beam onto the sample and interpreting the emitted signals from the surface.

Based on numerous experiments conducted using the PLD technique, several optimal parameters for CZTS thin-film deposition have been established. These include laser parameters of 1064 nm wavelength, 5 ns pulse duration, and 10 Hz repetition rate. Additionally, the target-to-substrate distance was set at 5- 4.5 cm, and post-deposition thermal treatment was carried out at 375–400°C. These variables can be adjusted depending on factors such as the type of substrate and target, laser energy, and the distance between the target and substrate [21].

The maximum reported efficiency of CZTS/Si solar cells is only 4.1% [24], which is considerably lower than that of conventional CZTS thin-film solar cells (12.6%)[25]. Several strategies have been proposed to enhance the performance and efficiency of CZTS/Si solar

cells. These include precise control of the absorber layer thickness, doping to improve charge carrier separation and electrical conductivity, application of anti-reflection coatings, optimization of front and back contacts, interface engineering with interlayers, surface passivation using thin films, post-deposition thermal treatments to enhance crystallinity and reduce internal resistance, and chemical surface cleaning to eliminate Cu-rich secondary phases and other impurities.

4. Conclusions

The efficiency of CZTS/Si solar cells remains relatively low compared to conventional CZTS thin-film solar cells, and several scientific strategies have been proposed to improve their performance and efficiency. Additionally, the deposition conditions in the Pulsed Laser Deposition (PLD) technique have been systematically investigated to enhance film quality, making PLD a promising method for the fabrication of high-efficiency and environmentally sustainable CZTS-based solar cells.

A systematic investigation of the main operational conditions in the PLD technique is essential due to their significant impact on thin-film quality. Based on research conducted in our laboratory, a set of optimized conditions suitable for film deposition using PLD has been established. These conditions can be adjusted depending on the type of substrate, target material, and laser energy applied.

Therefore, the PLD technique represents a promising approach for fabricating CZTS solar cells that combine high efficiency with environmental sustainability. Moreover, CZTS thin-film solar cells are considered a potential alternative to conventional CdTe and CIGS solar cells, while the development of n-Si/CZTS heterojunction solar cells could provide an advanced alternative to the traditional CZTS thin-film architecture.

References

1. Chopra, K., P. Paulson, and V. Dutta, *Thin-film solar cells: an overview*. Progress in Photovoltaics: Research and applications, 2004. **12**(2-3): p. 69-92.
2. Kessler, F. and D. Rudmann, *Technological aspects of flexible CIGS solar cells and modules*. Solar energy, 2004. **77**(6): p. 685-695.
3. Green, M.A., et al., *Solar cell efficiency tables (version 52)*. Progress in photovoltaics: Research and applications, 2018. **26**(7): p. 427-436.

4. Gezgin, S.Y. and H.Ş. Kılıç, *The electrical characteristics of ITO/CZTS/ZnO/Al and ITO/ZnO/CZTS/Al heterojunction diodes*. Optik, 2019. **182**: p. 356-371.
5. Mkawi, E., et al., *Dependence of copper concentration on the properties of Cu₂ZnSnS₄ thin films prepared by electrochemical method*. International Journal of Electrochemical Science, 2013. **8**(1): p. 359-368.
6. Rajeshmon, V. and K. Vijayakumar, *Prospects of sprayed CZTS thin film solar cells from the perspective of material characterization and device performance*. 2013, Cochin University Of Science And Technology.
7. Yeh, M.-Y., et al., *Copper-zinc-tin-sulfur thin film using spin-coating technology*. Materials, 2016. **9**(7): p. 526.
8. Islam, M.F., N.M. Yatim, and M.A. Hashim, *A review of CZTS thin film solar cell technology*. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 2021. **81**(1): p. 73-87.
9. Song, X., et al., *A review on development prospect of CZTS based thin film solar cells*. International Journal of Photoenergy, 2014. **2014**(1): p. 613173.
10. Wang, H., *Progress in thin film solar cells based on Cu₂ZnSnS₄*. International journal of Photoenergy, 2011. **2011**(1): p. 801292.
11. Ravindiran, M. and C. Praveenkumar, *Status review and the future prospects of CZTS based solar cell—A novel approach on the device structure and material modeling for CZTS based photovoltaic device*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **94**: p. 317-329.
12. Scragg, J.J., et al., *A detrimental reaction at the molybdenum back contact in Cu₂ZnSn (S, Se) 4 thin-film solar cells*. Journal of the American Chemical Society, 2012. **134**(47): p. 19330-19333.
13. Vermang, B., et al., *Rear surface optimization of CZTS solar cells by use of a passivation layer with nanosized point openings*. IEEE Journal of Photovoltaics, 2015. **6**(1): p. 332-336.
14. Obahiagbon, U., et al. *The role of the intrinsic zinc oxide layers on the performance of wide-bandgap (AgCu)(InGa) Se₂ thin-film solar cells*. in *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. 2015. IEEE.
15. Todorov, T. and D.B. Mitzi, *Direct liquid coating of chalcopyrite light-absorbing layers for photovoltaic devices*. European Journal of Inorganic Chemistry, 2010. **2010**(1): p. 17-28.
16. Gezgin, S.Y., et al., *The effect of CZTS ultrathin film thickness on the electrical characteristic of CZTS/Si heterojunction solar cells in the darkness and under the illumination conditions*. Silicon, 2021. **13**(10): p. 3555-3567.
17. Vanalakar, S., et al., *A review on pulsed laser deposited CZTS thin films for solar cell applications*. Journal of Alloys and Compounds, 2015. **619**: p. 109-121.
18. Dursun, S., et al., *Investigation of photocatalytic activity (under visible light) of ultrathin CZTS films produced in different thicknesses by PLD method*. Optical and Quantum Electronics, 2023. **55**(2): p. 166.
19. Gezgin, S.Y. and H.Ş. Kılıç, *The effect of Ag and Au contacts on the efficiency of CZTS/n-Si solar cell: the confirmation of experimental and theoretical results by SCAPS simulation*. Brazilian Journal of Physics, 2022. **52**(4): p. 148.
20. May-Smith, T.C., *Pulsed laser deposition of thick multilayer garnet crystal films for waveguide laser devices*. 2005, University of Southampton.
21. Gezgin, S.Y., A. Houimi, and H.Ş. Kılıç, *Production and photovoltaic characterisation of n-Si/p-CZTS heterojunction solar cells based on a CZTS ultrathin active layers*. Optik, 2019. **199**: p. 163370.

22. Gezgin, S.Y.ğ.t. and H.Ş. Kılıç, *An improvement on the conversion efficiency of Si/CZTS solar cells by LSPR effect of embedded plasmonic Au nanoparticles*. Optical Materials, 2020. **101**: p. 109760.
23. Houimi, A., et al., *Numerical analysis of CZTS/n-Si solar cells using SCAPS-1D. A comparative study between experimental and calculated outputs*. Optical Materials, 2021. **121**: p. 111544.
24. Hajjafarassar, A., *Technology for CZTS-Silicon Tandem Solar Cells*. 2020.
25. Islam, M.F., N.M. Yatim, and M.A. Hashim, *A review of CZTS thin film solar cell technology*. 2021.

COMPARATIVE STUDY OF EFFECTIVE ATOMIC NUMBER (Z_{eff}) AND FAST NEUTRON ATTENUATION PROPERTIES OF WO_3 -CONTAINING MINERALS

Dr. Öğr. Üyesi MEHTAP YALÇINKAYA

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü,
yalcinm@istanbul.edu.tr - 0000-0002-1133-3308

ABSTRACT

In this study, the fast neutron attenuation performance and the variation of effective atomic number (Z_{eff}) in the energy range of 15-15000 keV were comparatively investigated for three different mineral phases containing tungsten trioxide (WO_3): Liguowuite (WO_3), Tungstite ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), and Hydrotungstite ($\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The fast neutron removal cross section Σ_R (FNRC) and Z_{eff} values were calculated using the Phy-X/PSD software. The Z_{eff} distributions emphasize the importance of atomic number and elemental composition, especially in interactions with medium- and high-energy photons. The results indicate that the density, elemental composition, and hydration level of the minerals collectively influence their fast neutron attenuation capabilities. This study provides valuable insights into the potential use of these WO_3 -containing minerals in fast neutron shielding applications.

Keywords: Nuclear radiation shielding, FNRC, Z_{eff} , Phy-X/PSD, Tungstite, Hydrotungstite, Liguowuite.

1. INTRODUCTION

Neutrons are fundamental particles with no electrical charge and a spin of $\frac{1}{2}$. Owing to their high penetration capability, they hold special significance both in nuclear reactor physics and radiation protection technologies. The absence of electrical charge prevents neutrons from directly interacting with atomic nuclei through Coulomb forces, making them indirectly ionizing radiation types that can penetrate much deeper into matter compared to ionizing photons [1].

The interaction of neutrons with matter primarily occurs through scattering (elastic or inelastic) and absorption (charged-particle reactions, capture, or fission) mechanisms. The probability of these interactions—known as the cross section—depends on the neutron energy and the atomic

number of the target nucleus. In charged-particle reactions, the target nucleus absorbs a neutron and forms a compound nucleus, which may subsequently emit charged particles such as protons or alpha particles. If the residual nucleus remains in an excited state after this emission, it can also emit gamma photons.

Neutron capture reactions predominantly occur with thermal neutrons, in which the target nucleus absorbs a low-energy neutron to form an excited compound nucleus. This nucleus then emits one or more high-energy prompt gamma photons to reach a stable state. Therefore, in the design of neutron shielding, not only the neutrons themselves but also the secondary charged particles and gamma rays generated by their interactions must be considered. For this purpose, neutron shielding typically involves a three-stage protection process: (1) moderation of neutrons, (2) absorption of neutrons, and (3) attenuation of secondary gamma rays [2].

In neutron moderation, hydrogen-containing materials such as water, paraffin, and polyethylene are effective via elastic scattering with low atomic number (low- Z) elements. Fast neutrons, however, lose energy predominantly through inelastic scattering with high- Z elements such as tungsten, iron, and lead. Furthermore, these high- Z materials are also effective in attenuating the high-energy gamma rays produced by neutron interactions [3].

The fast neutron removal cross section (Σ_R , also referred to as FNRC) is a critical parameter indicating the ability of a material to attenuate neutrons, expressed in units of cm^{-1} . The effective atomic number (Z_{eff}) represents an energy-dependent quantity that characterizes the photon interaction behavior of multi-element materials. A higher Z_{eff} value corresponds to greater photon attenuation capability.

Tungsten ($Z=74$) is a particularly advantageous element for neutron and gamma radiation shielding due to its high density, high atomic number, and high melting point. Therefore, investigating the shielding performance of natural minerals containing tungsten trioxide (WO_3) is of strategic importance in both nuclear engineering and medical radiation protection applications.

In this study, three WO_3 -based minerals—Tungstite, Hydrotungstite, and Liguowuite—were analyzed to evaluate how their elemental composition, density, and hydration level influence their shielding performance against fast neutrons and the high-energy gamma radiation produced by neutron interactions. The fast neutron removal cross section (Σ_R) and the variation

of effective atomic number (Z_{eff}) in the 15–15000 keV energy range were calculated and comparatively analyzed using the Phy-X/PSD software [4].

2. COMPUTATIONAL STUDIES

2.1. Minerals Used and Their Properties

The minerals investigated in this study consist of three different structures containing tungsten trioxide (WO_3). Their chemical formulas, densities, and elemental composition ratios are presented in Table 1 [5–12].

Table 1. Density and compositional properties of the minerals

Mineral	Chemical Formula	Density (gr/cm³)	W (%)	O (%)	H (%)
TUNGSTITE	$\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5,78	73,58	25,61	0,81
HYDROTUNGSTITE	$\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4,66	68,63	29,86	1,51
LIGUOWUITE	WO_3	7,22	79,297	20,703	---

2.2. Computational Method

In this study, the fast neutron removal cross section (Σ_R) and the effective atomic number (Z_{eff}) values were calculated using the Phy-X/PSD software [4]. The parameter Σ_R represents the attenuation of fast neutron energy as they undergo scattering or absorption processes while passing through a material. In other words, Σ_R is a measure of a material's ability to attenuate fast neutrons. According to the literature, the typical Σ_R values for some reference materials are as follows: water (0.10 cm^{-1}), concrete ($0.12\text{--}0.15 \text{ cm}^{-1}$), lead (0.005 cm^{-1}), and polyethylene ($0.11\text{--}0.12 \text{ cm}^{-1}$) [13].

The effective atomic number (Z_{eff}) describes the photon interaction characteristics of multi-element materials over a given energy range and is directly related to photon interaction mechanisms such as the photoelectric effect, Compton scattering, and pair production. Therefore, Z_{eff} varies with energy: the photoelectric effect dominates at low energies, Compton scattering dominates in the intermediate range, and pair production becomes significant at high

energies. The higher the Z_{eff} value, the better the material's capability to attenuate gamma radiation at that energy.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The variation of effective atomic number (Z_{eff}) with photon energy in the 15–15000 keV range for Tungstite ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Hydrotungstite ($\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and Liguowuite (WO_3) is shown in Figure 1.

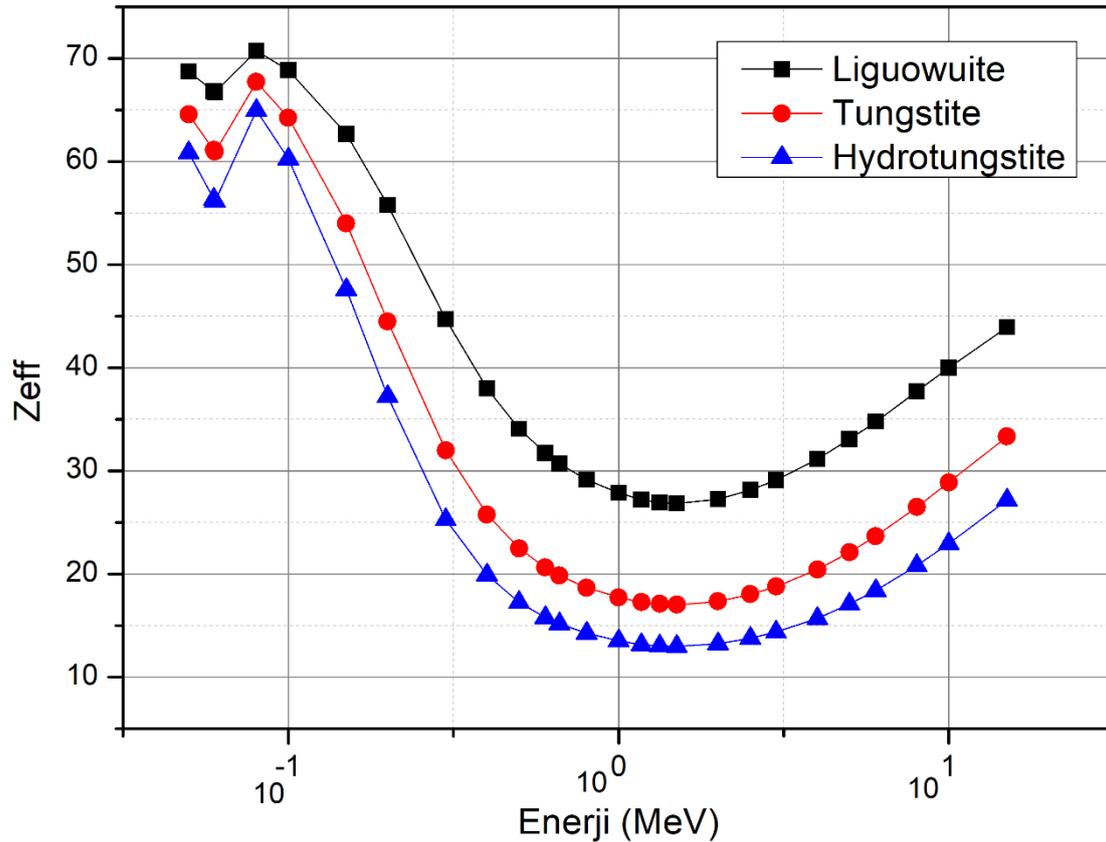


Figure 1. Effective atomic number (Z_{eff}) vs photon energy

For all three minerals, Z_{eff} values are relatively high in the low-energy region where the photoelectric effect predominates. As energy increases, Z_{eff} decreases and reaches a minimum value for all minerals. In the intermediate energy region, where Compton scattering dominates, the Z_{eff} values of all minerals become closer to each other. At high energies, where pair production occurs, Z_{eff} values rise again. Among the three minerals, the non-hydrated Liguowuite (WO_3) exhibits the best gamma shielding performance, followed by Tungstite ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) and Hydrotungstite ($\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

The calculated fast neutron removal cross-section (Σ_R) values for these minerals are presented in Table 2.

Table 2. Calculated fast neutron removal cross-section (Σ_R)

Mineral	Chemical Formula	Σ_R (cm ⁻¹)
TUNGSTITE	WO ₃ .H ₂ O	0,121
HYDROTUNGSTITE	WO ₃ .2H ₂ O	0,0661
LIGUOWUITE	WO ₃	0,084

Among these minerals, Liguowuite (WO₃) contains the highest tungsten fraction (79,297%) and has the highest density (7,22 gr/cm³). An increase in density implies a higher atomic concentration per unit volume; therefore, theoretically, denser materials are expected to attenuate fast neutrons more effectively through inelastic scattering. However, the results indicate that the best fast neutron attenuation performance was achieved by Tungstite (WO₃.H₂O), which has the highest Σ_R value. It is followed by Liguowuite (WO₃) and Hydrotungstite (WO₃.2H₂O).

This can be attributed to Tungstite's relatively high tungsten content (73,58%), its optimum density (5,78 gr/cm³), and its small amount of hydrogen (0,81%). Oxygen also contributes to neutron moderation, although less effectively than hydrogen. The tungsten atoms reduce fast neutron energy through inelastic scattering, while hydrogen atoms enhance neutron attenuation through elastic scattering and absorption processes.

Hydrotungstite (WO₃.2H₂O), due to its highly hydrated structure, has the lowest tungsten content (68,63%) and the lowest density (4,66 gr/cm³). Therefore, it exhibits the smallest Σ_R value among the three minerals.

4. CONCLUSIONS

The results clearly demonstrate that, in addition to density, both the elemental composition and hydration level of minerals collectively influence their fast neutron attenuation capabilities. The best gamma attenuation performance was observed in the non-hydrated Liguowuite mineral, while the best fast neutron attenuation performance was achieved by Tungstite.

Consequently, Tungstite, a WO_3 -containing mineral, provides a balanced structure with sufficient tungsten concentration, appropriate density, and a small amount of hydrogen—making it an effective shielding material against both fast neutrons and the high-energy gamma rays produced during neutron slowing-down processes. These findings suggest that Tungstite could serve as an environmentally friendly and cost-effective alternative to conventional high-density artificial shielding materials.

REFERENCES

- [1] Reif, F., *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1965.
- [2] Lamarsh, J. R. ve Baratta, A. J., *Introduction to Nuclear Engineering*, 3rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [3] Attix, F. H., *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*, Wiley-Interscience Publication, New York, 1986.
- [4] Şakar, E., Özpolat, Ö. F., Alım, B., Sayyed, M. I., Kurudirek, M., Investigation on radiation shielding properties of some alloys using Phy-X/PSD software, *Radiation Physics and Chemistry*, 166, 108496, 2020.
- [5] <https://webmineral.com/data/Tungstite.shtml> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [6] <https://www.mindat.org/min-4054.html> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [7] <https://next-gen.materialsproject.org/materials/mp-553964> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [8] <https://webmineral.com/data/Tungstite.shtml> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [9] <https://www.mindat.org/min-1988.html> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [10] <https://next-gen.materialsproject.org/materials/mp-1041282> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [11] <https://ejm.copernicus.org/articles/34/95/2022/> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [12] <https://www.mindat.org/min-55438.html> (Erişim tarihi: 17.09.2025).
- [13] National Bureau of Standards (U.S.), *Protection Against Neutron Radiation*, NBS Handbook 63, U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 1957.

EVALUATION OF OTOLITH MASS ASYMMETRY IN PONTIC SHAD (*Alosa immaculata*) SPECIMENS COLLECTED FROM DIFFERENT REGIONS OF THE BLACK SEA

SUDENAZ GÜDÜL

Ondokuz Mayıs University, sudegdl55@gmail.com - 0009-0002-6757-6330

ASSOCIATE PROFESSOR SEMRA SAYGIN

Ondokuz Mayıs University, semra.saygin@omu.edu.tr - 0000-0002-3249-5074

ABSTRACT

Pontic shad (*Alosa immaculata*) is an economically and ecologically significant species in the Black Sea ecosystem. This work is aimed to examine the degree of sagittal otolith mass asymmetry in the specimens of the Black Sea's western, central, and eastern parts, to compare the state of symmetry in both female and male individuals, and to assess its dependence on the length of the fish. A total of 150 specimens were obtained from commercial fishers during the 2024–2025 fishing season. The total lengths of the samples were measured (± 0.1 cm), and their sexes were determined. The right and left otoliths of each individual were carefully removed, and weighed using a precision balance (± 0.00001 g). Otolith mass asymmetry (X) and absolute otolith mass asymmetry (|X|) was computed. The relationship between otolith mass asymmetry and fish length was evaluated using a linear regression model. In *A. immaculata* individuals, otolith mass asymmetry (X) ranged from -0.81781 to 0.90598 , while absolute otolith mass asymmetry (|X|) ranged from 0.00000 to 0.90598 . For females and males, otolith mass asymmetry values were $-0.81781 \leq X \leq 0.90598$ and $-0.33846 \leq X \leq 0.25185$, respectively. Absolute otolith mass asymmetry values ranged between $0.00000 \leq X \leq 0.90598$ for females and $0.00000 \leq X \leq 0.33846$ for males. When females and males were compared, no statistically significant differences were found in either otolith mass asymmetry or absolute otolith mass asymmetry (Mann–Whitney U test, $P > 0.05$). Analyses of linear relationships between otolith mass asymmetry and fish length for the whole population, females, and males indicated no significant correlation between otolith mass/absolute otolith mass asymmetry and fish length ($0.0002 \leq r^2 \leq 0.0376$; $P > 0.05$). It is the first analysis of otolith mass and absolute mass asymmetry in *A. immaculata* and its assessment of association with the length of the fishes. Otolith asymmetry is considered an important biological parameter that may be used in long-term monitoring studies.

This study was derived from project number 1919B012316718, which was accepted within the scope of TÜBİTAK-2209A (University Students Research Projects Support Program).

Keywords: *Alosa immaculata*, Sagitta, Black Sea, Otolith, Mass asymmetry

KARADENİZ'İN FARKLI BÖLGELERİNDEN ELDE EDİLEN TİRSİ BALIĞI (*Alosa immaculata*) ÖRNEKLERİNDE OTOLİT KÜTLE ASİMETRİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

SUDENAZ GÜDÜL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, sudegdl55@gmail.com - 0009-0002-6757-6330

DOÇ. DR. SEMRA SAYGIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, semra.saygin@omu.edu.tr - 0000-0002-3249-5074

ÖZET

Tirsi balığı (*Alosa immaculata*), Karadeniz ekosisteminde hem ekolojik hem de ekonomik açıdan önemli bir türdür. Bu çalışmada Karadeniz'in Batı, Orta ve Doğu bölgelerinden elde edilen tirsî örneklerinin sagittal otolitlerinin kütle asimetrisi düzeylerinin incelenmesi, simetri durumunun dişi-erkek bireyler arasında karşılaştırılması ve balık boyu ile ilişkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Karadeniz'de ticari avcılık yapan balıkçılardan 2024-2025 avcılık sezonu içerisinde toplam 150 birey elde edilmiştir. Örneklerin total boyları ölçülmüş ($\pm 0,1$ cm), eşeyleri tayin edilmiştir. Her bireyin sağ ve sol otolitleri ayırım yapılarak çıkarılmış ve hassas terazi ($\pm 0,00001$ g) ile tartılmıştır. Otolit kütle asimetrisi (X) ve mutlak otolit kütle asimetrisi (|X|) hesaplanmıştır. Otolit kütle asimetrisi ile balık boyu arasındaki ilişkinin açıklanmasında doğrusal ilişki denklemi kullanılmıştır. *A. immaculata* bireylerinin otolit kütle asimetrisi (X) -0,81781 ile 0,90598 arasında, mutlak kütle asimetrisi (|X|) ise 0,00000 ile 0,90598 arasındadır. Otolit kütle asimetrisi dişi ve erkek bireyler için sırası ile $-0,81781 \leq X \leq 0,90598$, $-0,33846 \leq X \leq 0,25185$ şeklinde hesaplanmıştır. Mutlak kütle asimetrisi değeri ise dişi bireylerde $0,00000 \leq X \leq 0,90598$, erkek bireylerde $0,00000 \leq X \leq 0,33846$ arasındadır. Dişi ve erkek bireyler karşılaştırıldıklarında hem otolit kütle asimetrisi (Mann-Whitney U Testi, $P > 0,05$) hem de mutlak otolit kütle asimetrisi (Mann-Whitney U Testi, $P > 0,05$) bakımından aralarında anlamlı derecede farklılık olmadığı belirlenmiştir. Populasyon geneli, dişi bireyler ve erkek bireyler için otolit kütle asimetrisi ile balık boyu arasındaki tüm doğrusal ilişkiler incelendiğinde otolit kütle/mutlak otolit kütle asimetrisinin balık boyu ile ilişkisinin olmadığı belirlenmiştir ($0,0002 \leq r^2 \leq 0,0376$; $P > 0,05$). Bu çalışma ile ilk kez tirsî balığının otolit kütle/mutlak kütle asimetrisi incelenmiş ve balık boyu ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Otolit asimetrisi uzun dönemli izleme çalışmalarında önemli biyolojik bir parametre olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, TÜBİTAK-2209A (Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı) kapsamında kabul edilen 1919B012316718 nolu projeden türetilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alosa immaculata*, Sagitta, Karadeniz, Otolit, Kütle asimetrisi

1. INTRODUCTION

The fish ear has three otolith pairs. They are paired structures located in the fish skulls known as the asteriscus, lapillus, and sagitta (Secor, 1992). Although the asteriscus or the lapillus is bigger than the sagitta in ostariophysian fishes, the sagittae is the biggest of the mentioned otoliths in the majority of the species of bony fishes (Schulz-Mirbach and Plath, 2012). The biggest otoliths in the *Alosa immaculata* Bennett, 1835 (Alosidae family) are otoliths of the sagitta type. The sagittal otoliths give importance to the fish biologists. The reason is that the sagittae are physiologically inactive like the bones and the scales. That means any material formed in them remains unchanged and cannot be reabsorbed (Campana and Neilson, 1985). Thus, the otoliths give service in the large specter of the studies concerning the fishes. They can be studied to disclose the anatomical, ecomorphological features of the fishes and the biological features of them, and the species may be identified with the morphometry of them (Nazir and Khan, 2021; Morissette and Whitley, 2022; Santos and Vaz-dos-Santos, 2022; Yedier et al., 2023; Bostanci et al., 2024; Widdrington et al., 2025). Otoliths, which grow throughout a fish's lifespan, generally exhibit symmetrical growth. In some cases, differences in the masses of the right and left otoliths can occur, which is referred to as otolith mass asymmetry (Campana, 1999; Campana and Thorrold, 2001), this condition may adversely affect the hearing of the fishes (Battaglia et al. 2015). The coefficient provided with the otolith mass asymmetry may be used for the determination of the healthy status of the watery milieu and the identification of the impact of the environment concerning the fishes (Jawad et al., 2023). There are many research in the determination concerning the otolith mass asymmetry of the inland and sea-living fish species (Bouriga et al., 2021; Özpiçak ve Saygın, 2023; Andrialovanirina vd., 2023; İmamoğlu et al., 2024; Qasim and Jawad, 2024; Reis et al., 2025). To the authors' knowledge, though, there is no research about the otolith mass asymmetry of *Alosa immaculata*.

In researches on *Alosa immaculata* living in the Black Sea, reliable bony structure for age determination of the species was determined (Yılmaz and Polat, 2002), morphometric and meristic characteristics of populations in the Marmara and Black Seas were examined (Turan et al., 2010a), phylogenetic relationships between *Alosa* species in the Black Sea were revealed (Turan et al., 2010b). In addition, the length-weight and length-length relations of *Alosa immaculata* were established (Ergüden et al., 2011) and the molecular analysis of *Alosa* species inhabiting Turkish seas with the mtDNA gene was conducted (Turan et al., 2015). Besides, the impact of the depth on the size coverage of *Alosa immaculata* species collected in the Black Sea coast was studied by Balık (2017). Özdemir et al. (2018) established the growth and the population parameters of the species and Samsun (2022) covered the length-weight relation of the species. The analysis of the studied sources showed the insufficiency of the research about otoliths in the *Alosa immaculata* population inhabiting the Black Sea (Türkiye). In order to close this gap, we undertook the task of estimating the species' otolith mass asymmetry and relating it with the length of the fish. The findings are expected to be highly informative in the estimation of the species in future research.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Fish Sampling

In this study, 50 fish were collected from commercial fishermen in three different regions of the Black Sea (Figure 1) and brought to the Ichthyology Research Laboratory of the Biology Department, Faculty of Science, Ondokuz Mayıs University, in ice-cold storage containers during the fishing season. The sampling period covered the 2024 and 2025 fishing seasons.

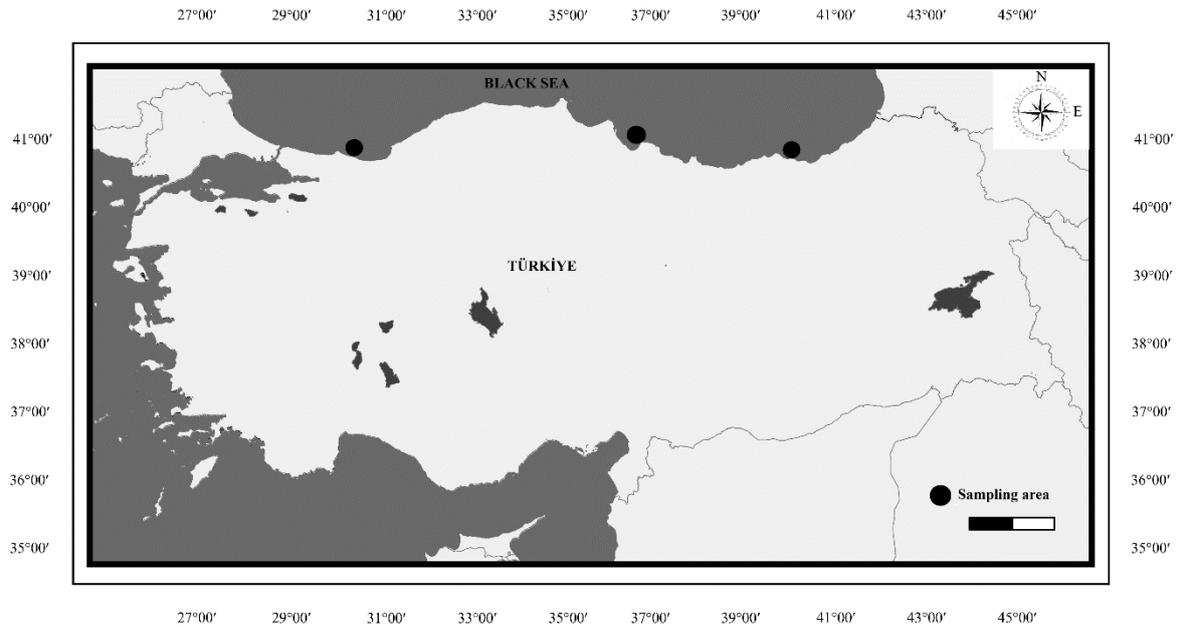


Figure 1. Fish sampling points (Western, Central and Eastern Black Sea) (scale: 150 km)

2.2. Measurement and Extraction of Fish Otoliths from *Alosa immaculata* specimens

Fish brought to the laboratory in ice-filled containers were first washed under tap water to remove contaminants. Total length (TB) of the fish was measured using a measuring board (± 0.01 cm), and their weight (W, ± 0.1 g) was weighed. These data were recorded in catalogs prepared for each specimen. Sexes were determined macroscopically by examining the gonads. In cases of doubt, sex was determined by examining the gonads under a microscope. Using the method suggested by Chugunova (1963), sagittal otoliths were removed from both sides of the head using fine-tipped forceps, distinguishing between right and left otoliths. Undamaged otoliths were cleaned in distilled water, then rinsed in 96% alcohol, dried, and transferred to Eppendorf tubes.

Each sagittal otolith was weighed using a Radwag precision scale (± 0.00001 g), distinguishing between right and left otoliths. Minimum, maximum, mean, and standard deviation values for the measurement and weighing data were calculated separately for females, males, all individuals, and right and left otoliths. When comparing the results of female and male

individuals, the independent t-test was used if the data were normally distributed, and the Mann-Whitney U test was used if the data were not normally distributed.

2.3. Otolith Mass Asymmetry

The following formula was used to calculate otolith mass asymmetry (x);

$$X = (M_R - M_L) / M$$

In the equation, M_R is the mass of the right otolith, and M_L is the mass of the left otolith. M represents the average of the masses of the right and left otoliths. If the masses of the right and left otoliths are equal ($M_R = M_L$), this value is zero (0), indicating no otolith mass asymmetry. This value varies between -2 and +2, with $x = -2$ or $x = +2$ indicating maximum asymmetry (absence of an otolith). Absolute mass asymmetry ($|x|$) was calculated by taking the absolute value of the otolith mass asymmetry. A linear relationship was used to explain the relationship between otolith mass asymmetry and fish length (Lychakov et al., 2008). SPSS 21.0, were used for statistical analyses.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

During the 2024 and 2025 fishing seasons, 150 *Alosa immaculata* individuals were obtained. The total lengths of the specimens varied between 14.1-37.3 cm (mean±sd, 22.8±6.02) and their weights ranged between 22.22-280.15 g (121.86±85.81). Of the 150 individuals obtained, 76 were female and 74 were male. The lengths of female individuals ranged between 14.2-37.3 cm (23.9±6.26) and male individuals ranged between 14.1-37.1 (21.6±5.59) cm. Normality test was applied to the total lengths and weights of female and male individuals, and it was determined that the data were not normally distributed (Kolmogorov-Smirnov test, $P=0.001$). When female and male individuals were compared, it was found that they were statistically different from each other in terms of total length (Mann-Whitney U test, $P=0.018$) and weight (Mann-Whitney U test, $P=0.004$).

Otolith mass asymmetry (x) of *A. immaculata* individuals sampled from the Black Sea ranged between -0.81781 and 0.90598, and absolute mass asymmetry ($|x|$) ranged between 0.00000 and 0.90598 (Table 1). Otolith mass asymmetry was calculated as $-0.81781 \leq x \leq 0.90598$, $-0.33846 \leq x \leq 0.25185$ for female and male individuals, respectively. Absolute mass asymmetry values ranged between $0.00000 \leq x \leq 0.90598$ for female individuals and $0.00000 \leq x \leq 0.33846$ for male individuals (Table 2).

Table 1: Descriptive statistics of the otolith weight, otolith mass/absolute mass asymmetry of the population of *A. immaculata*

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Right-OW	150	0,00049	0,00252	0,0013395	0,00043130
Left-OW	150	0,00032	0,00218	0,0013483	0,00042515
x	150	-0,81781	0,90598	0-,0070767	0,12342557
$ x $	150	0,00000	0,90598	0,0557608	0,11024587

OW: Otolith weight (g), x: otolith mass asymmetry $|x|$: absolute mass asymmetry

Table 2: Descriptive statistics of otolith weight and otolith mass/absolute mass asymmetry of female and male individuals of *A. immaculata* species

Sex		N	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation
Female	Right-OW	76	0,00052	0,00214	0,0014032	0,00045025
	Left-OW	76	0,00032	0,00210	0,0014113	0,00044850
	x	76	-0,81781	0,90598	-0,0035470	0,15081144
	x	76	0,00000	0,90598	0,0562977	0,13980395
Male	Right-OW	74	0,00049	0,00252	0,0012741	0,00040355
	Left-OW	74	0,00049	0,00218	0,0012836	0,00039231
	x	74	-0,33846	0,25185	-0,0107018	0,08775127
	x	74	0,00000	0,33846	0,0552094	0,06874991

When otolith mass asymmetry and absolute otolith mass asymmetry were compared between female and male individuals, it was determined that there was no significant difference between them in terms of both otolith mass asymmetry (Mann-Whitney U Test, $P > 0.05$) and absolute otolith mass asymmetry (Mann-Whitney U Test, $P > 0.05$).

When all linear relationships between otolith mass asymmetry and fish length were examined for the population as a whole, female individuals and male individuals, it was determined that the P value was greater than 0.05 and that otolith mass/absolute otolith mass asymmetry had no relationship with fish length ($0.0002 \leq r^2 \leq 0.0376$, $P > 0.05$) (Figure 2-7).

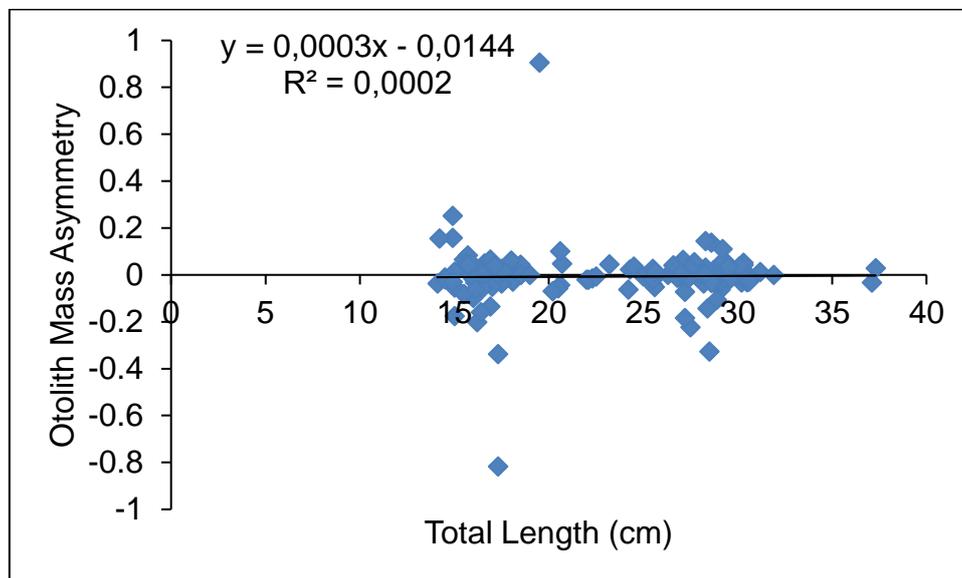


Figure 2. Otolith mass asymmetry-fish length relationship in Black Sea *A. immaculata* individuals (entire population)

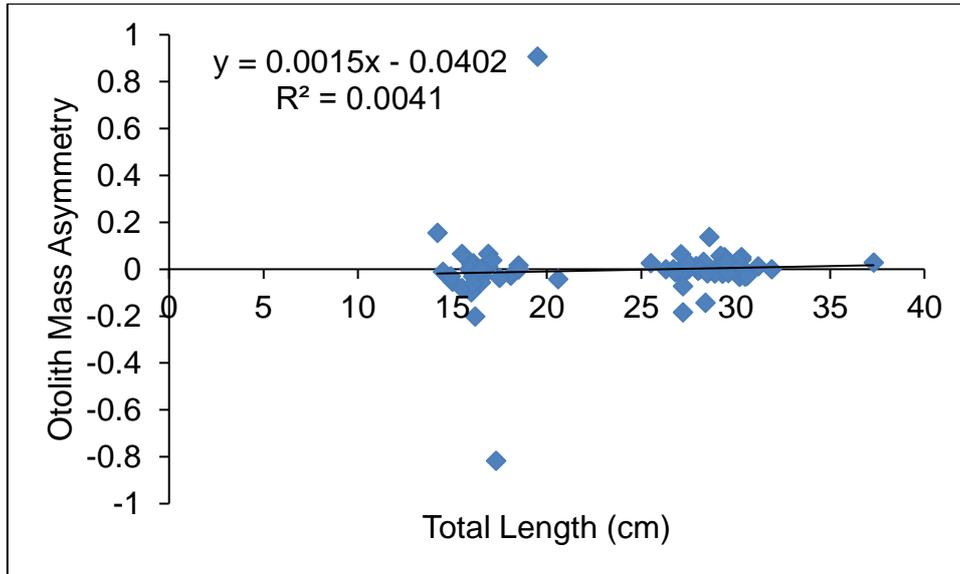


Figure 3. Otolith mass asymmetry-fish length relationship in Black Sea *A. immaculata* individuals (female individuals)

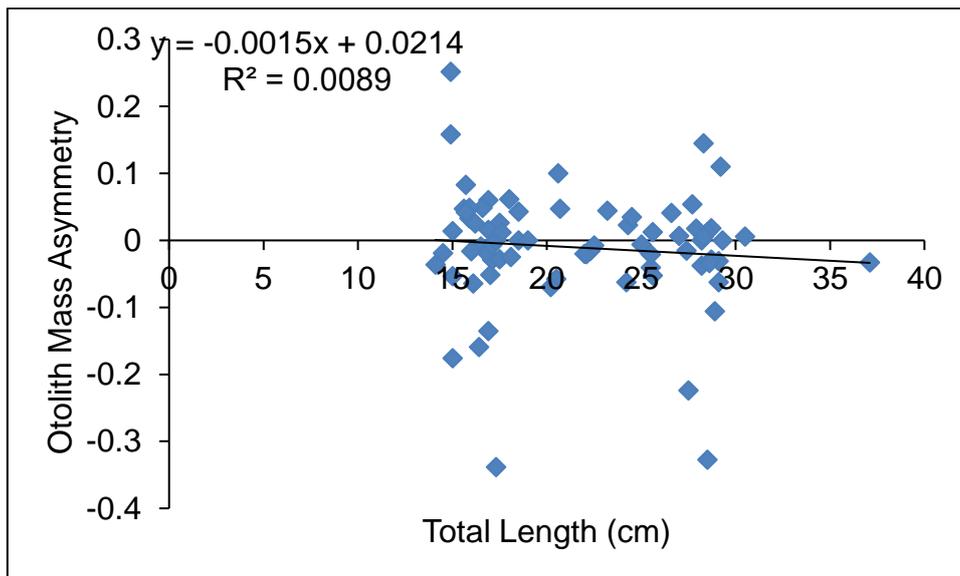


Figure 4. Otolith mass asymmetry-fish length relationship in Black Sea *A. immaculata* individuals (male individuals)

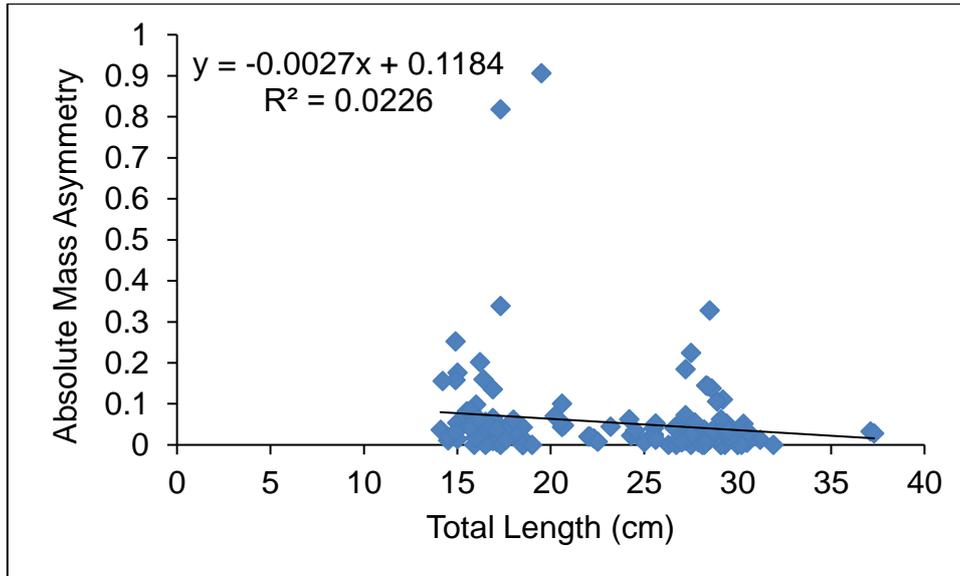


Figure 5. Absolute otolith mass asymmetry-fish length relationship in Black Sea *A. immaculata* individuals (entire population)

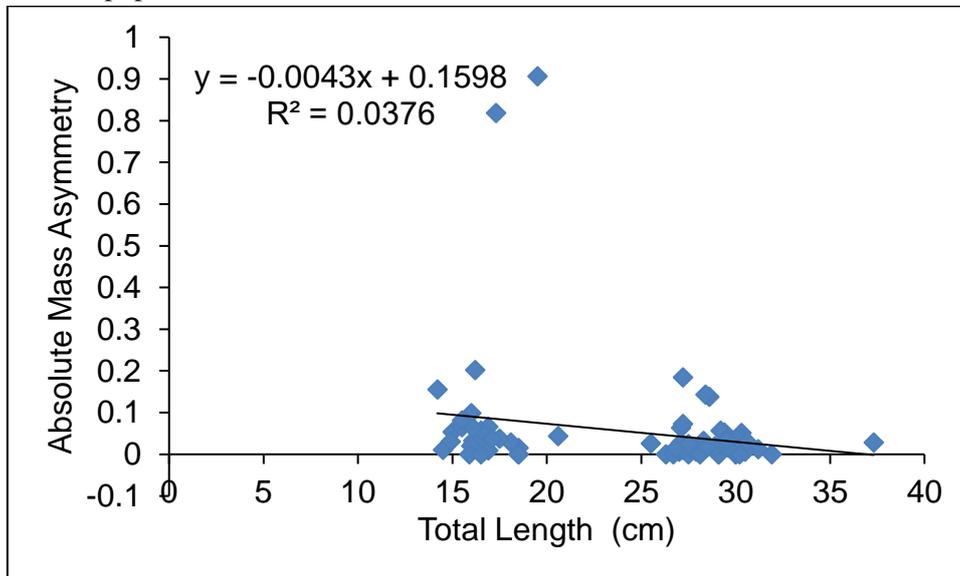


Figure 6. Relationship between absolute otolith mass asymmetry and fish length in Black Sea *A. immaculata* individuals (female individuals)

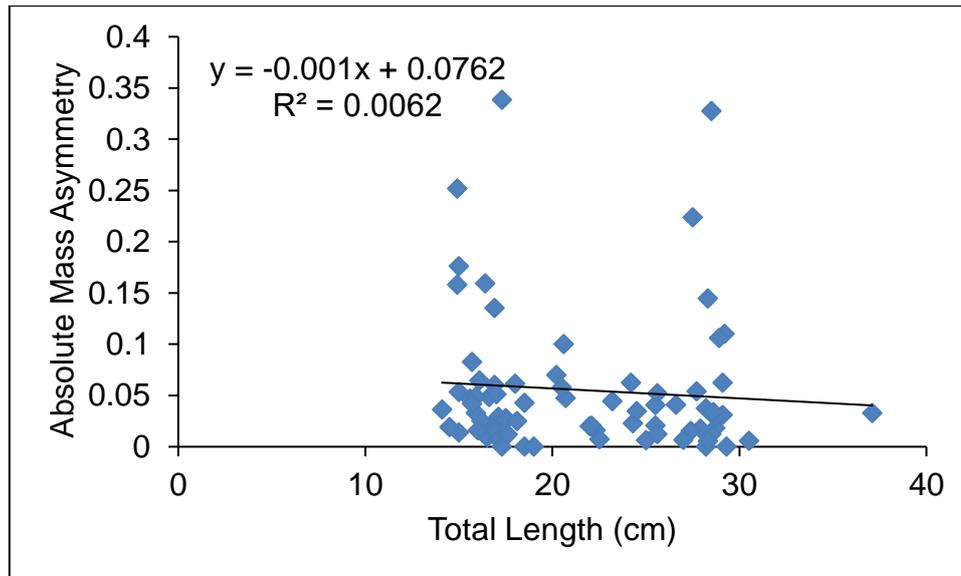


Figure 7. Relationship between absolute otolith mass asymmetry and fish length in Black Sea *A. immaculata* individuals (male individuals)

This research analyzed otolith mass asymmetry and the relationships with fish length of *A. immaculata*, collected from three different regions of the Black Sea: western, central, and eastern. This species, also known as the shad, is a marine species of economic value for our country. To ensure effective stock management of economically important species, it is crucial to identify their biological, reproductive, and feeding characteristics, as well as their otolith characteristics. The information obtained from this study is expected to provide insights into the species' biology and management. Fish otoliths have been widely used in studies such as feeding (Levken, 2022; Parvez et al., 2025), reproduction (Saygın et al., 2022; Quindazzi et al., 2025), age determination (Hançer et al., 2022; Shane et al., 2025), as well as in recent years for stock separation (Kerr et al., 2024; Saygın, 2024; D'Iglio et al., 2024; Ozpicak and Akkaya, 2025), species differentiation (Pathak et al., 2024; Pawar et al., 2024; Wang et al., 2025), and morphometry studies. When the relationships between the species' otolith mass asymmetry and otolith absolute mass asymmetry and fish length were examined, it was determined that the relationship between them was not significant ($P > 0.05$). A review of the literature reveals many studies that have obtained similar results (Jawad et al., 2012; Özpiçak and Saygın, 2023; İmamoğlu et al., 2024). As a result, it is thought that the results obtained regarding this commercially important species will constitute a data set for both fisheries management and the distinction of shad species from each other.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

This is the first study to examine otolith mass/absolute mass asymmetry and the relationships between otolith mass asymmetry and fish size in shad sampled from the Black Sea, Türkiye. It is anticipated that this study will serve as a basis for future studies on otolith mass asymmetry in marine fish and will enable researchers to compare otolith mass asymmetry between *A. immaculata* populations sampled from Türkiye and other countries. More comprehensive studies are needed to determine how otolith mass asymmetry in shad is affected by

environmental factors and how this is reflected in fish behavior. There is also a need to investigate how otolith mass asymmetry affects shad growth.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was produced from project number 1919B012316718, which was accepted within the scope of TÜBİTAK-2209A (University Students Research Projects Support Program). We would like to thank TÜBİTAK for their support.

REFERENCES

- [1] Andrialovanirina, N., Caillault, É. P., Couette, S., Laffont, R., Poloni, L., Lutet-Toti, C., & Mahé, K. (2023). Asymmetry of sagittal otolith shape based on inner ear side tested on Mediterranean Red Mullet (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758): comparative analysis of 2D and 3D otolith shape data. *Symmetry*, 15(5), 1067.
- [2] Balık, İ. (2017). Karadeniz'in Fatsa (Ordu) kıyılarında tirsi balıklarının, *Alosa immaculata*, büyüklük dağılımı üzerine derinliğin etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 29-40.
- [3] Battaglia, P., Malara, D., Ammendolia, G., Romeo, T., & Andaloro, F. (2015). Relationships between otolith size and fish length in some mesopelagic teleosts (Myctophidae, Paralepididae, Phosichthyidae and Stomiidae). *Journal of Fish Biology*, 87(3), 774-782.
- [4] Bostancı, D., Yalçınkaya, S. K., Yedier, S., Kurucu, G., & Polat, N. (2024). Otolith morphometry and scanning electron microscopy analysis of three fish species from the Black Sea. *Acta Biologica Turcica*, 37(1), 3-1.
- [5] Bouriga, N., Mejri, M., Dekhil, M., Bejaoui, S., Quignard, J. P., & Trabelsi, M. (2021). Investigating otolith mass asymmetry in six benthic and pelagic fish species (Actinopterygii) from the Gulf of Tunis. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 51, 193-197.
- [6] Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine ecology progress series*, 188, 263-297.
- [7] Campana, S. E., & Neilson, J. D. (1985). Microstructure of fish otoliths. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 42(5), 1014-1032.
- [8] Campana, S. E., & Thorrold, S. R. (2001). Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 30-38.
- [9] Chugunova, L. P. 1963. Age and Growth Studies in Fish. National Science Foundation, 132, Washington.
- [10] Erguden, D., Turan, F., & Turan, C. (2011). Length–weight and length–length relationships for four shad species along the western Black Sea coast of Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(3), 942-944.
- [11] İmamoğlu, C., Polat, N., Saygın, S., Özpiçak, M., & Yılmaz, S. (2024). Investigation of otolith mass asymmetry of *Squalius* sp. populations sampled from different freshwater sources in Samsun Province (Türkiye). *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 479-494.
- [12] Jawad, L., Qasim, A., Farrag, M., Osman, A., Samy-Kamal, M., Mehanna, S., & Abdel-Maksoud, Y. (2023). Investigation of otolith asymmetry in *Mulloidichthys flavolineatus* and *Parupeneus forsskali* (Perciformes: Mullidae) from Egypt's Hurghada fishing harbour on the Red Sea.

- [13] Lychakov, D. V., Rebane, Y. T., Lombarte, A., Demestre, M. & Fuiman, L. A. (2008). Saccular otolith mass asymmetry in adult flatfishes, *Journal of Fish Biology*, 72, 10.
- [14] Morissette, O., & Whitley, G. W. (2022). Listening with the invasive fish ear: applications and innovations of otolith chemistry analysis in invasive fish biology. *Environmental Biology of Fishes*, 105(2), 327-343.
- [15] Nazir, A., & Khan, M. A. (2021). Using otoliths for fish stock discrimination: status and challenges. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 51, 199-218.
- [16] Ozpicak, M., & Akkaya, S. (2025). Evaluating the Use of Otolith Shape Analysis to Identify the Spatial Stock Structure of Seabream, *Diplodus annularis* (Sparidae). *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 41(2), 103.
- [17] Özdemir, S., Söyleyici, H., Özdemir, B.Z., & Erdem, E. (2018). Karadeniz’de Avlanan Tirsi Balığı (*Alosa immaculata* Bennett, 1835)’nın Yaş ve Boy Kompozisyonundan Büyüme ve Populasyon Parametrelerinin Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 14(2), 102-112.
- [18] Özpiçak, M., & Saygın, S. (2023). Investigation of otolith mass asymmetry in three stocks of European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) from Türkiye. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40(3), 195-200.
- [19] Parvez, M. S., Hoque, M. I., Siddique, M. N. M., Rahman, M. M., Baranyai, E., Sajtos, Z., ... & Czédli, H. (2025). Elemental analysis in the scales of commercially important coastal fishes and their connections with fish feeding habits and habitats. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1546313.
- [20] Qasim, A., & Jawad, L. (2024). Otolith Mass Asymmetry of *Pampus candidus* (Osteichthyes, Stromatidae) from Iraqi Marine Waters. *Zoodiversity*, 58(5).
- [21] Quindazzi, M. J., Duguid, W. D., Brown, T., & Juanes, F. (2025). Tracking the marine migrations of coho salmon through otolith microchemistry. *Fisheries Research*, 287, 107418.
- [22] Reis, İ., Jawad, L., & Ateş, C. (2025). The Asymmetry in the Sagitta of *Saurida lessepsianus* Russell, Golani and Tikochinski, 2015 Collected From the Coast of Muğla Province, Aegean Sea, Türkiye. *Acta Zoologica*.
- [23] Samsun, S., (2022). The Length-Weight Relationships (LWRs) of Some Fishes Along the Turkish Coasts of the Black Sea, *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences* 8(2): 131-160. doi: 10.52998/trjms.1112696.
- [24] Santos, L., & Vaz-dos-Santos, A. M. (2022). Insights of otoliths morphology to reveal patterns of teleostean fishes in the Southern Atlantic. *Fishes*, 8(1), 21.
- [25] Santos, L., & Vaz-dos-Santos, A. M. (2022). Insights of otoliths morphology to reveal patterns of teleostean fishes in the Southern Atlantic. *Fishes*, 8(1), 21.
- [26] Schulz-Mirbach, T., & Plath, M. (2012). All good things come in threes—species delimitation through shape analysis of saccular, lagenar and utricular otoliths. *Marine and Freshwater Research*, 63(10), 934-940.
- [27] Secor D. H., Dean, J. M. & Laban, E. H. (1992). Otolith microstructure examination and analysis (First edition). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 19-57, Canada.
- [28] Shane, M. A., MacNamara, R., Bellquist, L. F., & Drawbridge, M. A. (2025). Otolith ageing of white seabass (*Atractoscion nobilis*): Known-age validation, reader performance and sex-specific growth patterns. *Journal of Fish Biology*.
- [29] Turan, C., Erguden, D., & Turan, F. (2010b). Phylogenetic Relationship Among The Black Sea *Alosa* Species From Mtdna Nd5/6 Sequences. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit*, 39, 687.

- [30] Turan, C., Erguden, D., Gurlek, M., Çevik, C., & Turan, F. (2015). Molecular systematic analysis of shad species (*Alosa* spp.) from Turkish marine waters using mtDNA genes.
- [31] Turan, C., Yağlıoğlu, D., Ergüden, D., Gürlek, M., Turan, F., & Öztürk, B. (2010a). Marmara Denizi ve Karadeniz’de Bulunan Tirsi (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) Populasyonlarının Morfometrik ve Meristik Analizi. Marmara Denizi Sempozyumu, 25-26.
- [32] Turan, C., Erguden, D., & Turan, F. (2010b). Phylogenetic relationship among the Black Sea *Alosa* species from mtDNA ND5/6 sequences. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit*, 39, 687.
- [33] Widdrington, J. B., Reis-Santos, P., Morrongiello, J. R., Macdonald, J. I., Wakefield, C. B., Newman, S. J., ... & Gillanders, B. M. (2025). Otolith growth chronologies reveal distinct environmental sensitivities between and within shallow-and deep-water snappers. *Reviews in fish biology and fisheries*, 35(1), 217-240.
- [34] Yedier, S., Bostanci, D., & Türker, D. (2023). Morphological and morphometric features of the abnormal and normal saccular otoliths in flatfishes. *The Anatomical Record*, 306(3), 672-687.
- [35] Yılmaz, S., & Polat, N. (2002). Age determination of shad (*Alosa pontica* Eichwald, 1838) inhabiting the Black Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 26(4), 393-398.

CASPIAN SEA-DERIVED *MICROBACTERIUM* AND *MICROCOCCLUS* ISOLATES: ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL POTENTIAL

ESRA KIZILDEMİR

Ondokuz Mayıs University, esraakizildemirr@gmail.com - 0009-0009-3282-9829

ASSISTANT PROFESSOR HAYRETTİN SAYGIN

Ondokuz Mayıs University, hayrettin.saygin@omu.edu.tr - 0000-0002-8642-5872

ABSTRACT

Marine ecosystems, with their extraordinary microbial diversity, represent strategic sources for biotechnological studies. In this investigation, actinobacterial isolates were collected from sediment samples taken from three different Caspian Sea regions. Pure cultures of the isolates designated 1GP02 and 2H02 were prepared, and long-term preservation was carried out in 25% glycerol solutions at -20 and -80 °C and molecular identification that followed, respectively. The 16S rRNA gene sequence analyses disclosed that 1GP02 and 2H02 strains presented high sequence similarity with species of the genera *Microbacterium* and *Micrococcus*, respectively. 16S rRNA gene sequence-based phylogenetic trees also confirmed that they joined the surrounding associated species, validating their taxonomic relationships. These results disclose that apart from terrestrial environments, these two genera can also inhabit marine environments, such as Caspian Sea sediments, as well. The bioactive capacity of the isolates was assayed with antimicrobial as well as antioxidant assays. The antimicrobial activity assays were performed with bacterial and fungal pathogens such as *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* and with fungal pathogens such as *Candida albicans*, *Fusarium graminearum*, *Aspergillus niger*, *Rhizoctonia solani*, respectively. However, both isolates presented no significant release of antimicrobial activity. Conversely, the antioxidant activity assayed through DPPH radical scavenging assay disclosed that 1GP02 and 2H02 possessed fair radical scavenging ability within a range of 68-72%. These results correspond to earlier documented activities of specific marine actinobacteria and indicate that the isolates represent promising sources for antioxidant activity. In summary, *Microbacterium* and *Micrococcus* isolates from Caspian Sea sediments presented weak antimicrobial activity but represented promising antioxidant activity. These results point out that marine microorganisms can represent not only sources for antibiotic discovery but also valuable sources for exploiting antioxidants and other sources for other biotechnological applications as well. The study contributes towards mapping the diversity of marine microbiological life and gives initial indications on future directions for bioprospecting studies.

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the project number 1919B012327410.

Keywords: Caspian Sea, Actinobacteria, *Microbacterium*, *Micrococcus*, Antioxidant activity, Antimicrobial activity.

HAZAR DENİZİ KÖKENLİ *MICROBACTERIUM* VE *MICROCOCCUS* İZOLATLARI: ANTİOKSİDAN VE ANTİMİKROBİYAL POTANSİYEL

ESRA KIZILDEMİR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, esraakizildemirr@gmail.com - 0009-0009-3282-9829

DR. ÖĞRETİM ÜYESİ HAYRETTİN SAYGIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, hayrettin.saygin@omu.edu.tr - 0000-0002-8642-5872

ÖZET

Denizel ekosistemler, sahip oldukları mikrobiyal çeşitlilik ile biyoteknolojik araştırmalarda stratejik öneme sahiptir. Bu çalışmada, Hazar Denizi'nin üç farklı bölgesinden toplanan sediment örneklerinden aktinobakteri izolasyonu gerçekleştirilmiştir. 1GP02 ve 2H02 olarak kodlanan izolatların saf kültürleri oluşturulmuş, uzun süreli koruma için -20 ve -80 °C'de %25'lik gliserol çözeltilerinde stokları oluşturulmuş ve moleküler düzeyde tanımlanmaları gerçekleştirilmiştir. İzolatların 16S rRNA gen bölgesi dizi analizleri sonucunda, 1GP02 ve 2H02 suşlarının sırasıyla *Microbacterium* ve *Micrococcus* cinsleri içerisinde yer alan türlerle yüksek düzeyde benzerlik gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca, 16S rRNA gen bölgesi nükleotit dizilerine dayalı oluşturulan filogenetik ağaçlarda da izolatlar bu yüksek benzerlik gösterdikleri türlerle birlikte dallanma göstermişlerdir. Bu durum, karasal habitatların yanı sıra denizel ortamlara da adapte olduğu bilinen bu iki cinsin Hazar Denizi sedimentlerine de adaptasyon gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen izolatların biyoaktif potansiyelleri antimikrobiyal ve antioksidan testlerle değerlendirilmiştir. Antimikrobiyal aktivite testleri, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* ve *Pseudomonas aeruginosa* gibi bakteriyel; *Candida albicans*, *Fusarium graminearum*, *Aspergillus niger* ve *Rhizoctonia solani* gibi fungal patojenlere karşı yürütülmüş, ancak test edilen iki izolatın belirgin bir antimikrobiyal etki göstermediği saptanmıştır. Buna karşılık, DPPH radikal süpürme yöntemiyle yapılan antioksidan aktivite analizlerinde 1GP02 ve 2H02 suşlarının orta düzeyde (%68-72 aralığında) radikal süpürme kapasitesine sahip oldukları bulunmuştur. Bu değerler literatürde rapor edilen bazı denizel aktinomisetlerle uyumlu olup, izolatların antioksidan potansiyel taşıdığını göstermektedir. Sonuç olarak, Hazar Denizi sedimentlerinden elde edilen *Microbacterium* ve *Micrococcus* izolatları antimikrobiyal açıdan sınırlı, ancak antioksidan özellikler bakımından umut verici bulunmuştur. Bu bulgular, denizel mikroorganizmaların yalnızca antibiyotik üretiminde değil, aynı zamanda antioksidan ve biyoteknolojik uygulamalarda da değerli kaynaklar olabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma, hem temel mikrobiyal çeşitliliğin anlaşılmasına katkı sağlamakta hem de ileride yapılacak biyoprospeksiyon araştırmalarına ön bilgi sunmaktadır.

Bu çalışma, 1919B012327410 numaralı proje kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hazar Denizi, Aktinobakteriler, *Microbacterium*, *Micrococcus*, Antioksidan aktivite, Antimikrobiyal aktivite.

1. INTRODUCTION

Actinomycetota are one of the most diverse and valuable in terms of biotechnology bacterial phyla. The name Actinomycete comes from the Greek words *actis* (ray) and *mykes* (fungus), due to their filamentous growth in the form of rays. Traditionally, the organisms belonged to the intermediate position between bacteria and fungi; nonetheless, molecular taxonomy has proved in the latter case the prokaryotic position of the organisms [1]. The organisms of this group belong to the class of high G + C Gram-positive bacteria of the phylum Actinomycetota and the order of the Actinomycetales, which includes branching hyphae with the capability of sporulating but with the absence of chitin or cellulose in the cellular wall [2-3].

Marine habitats, which occupy about 70 % of the Earth's surface, host one of the Earth's most diverse microbial richness. The marine actinobacteria, unlike their counterparts on land, developed evolvments of adaptation livelihoods in extreme environments like salinity, pressure, and temperature-fluctuating conditions [4]. The evolutions have caused not just morphological but also deep metabolic diversification.

Among the marine microorganisms, the actinobacteria stand out because they can generate structurally novel secondary metabolites with extensive bioactivities. The genera like *Streptomyces*, *Salinispora*, and *Micromonospora* are established producers of the antibiotics, antitumor compounds, antivirals, and free radical scavengers [5-6]. The marine species of *Salinispora*, for example, yield salinosporamide A, a strong inhibitor of the proteasome that culminated in clinical assessment [7]. In addition to the pharmaceutical uses, the metabolites also find applications in the environment and industrial biotechnology like hydrocarbon degradation, heavy metals, and organic contaminant decomposition [8] and the development of antioxidant ingredients in cosmetic and nutraceutical foods [9].

Although marine actinobacteria hold immense ecological and economic importance, microbial diversity in the Caspian Sea is poorly known. This semi-enclosed brackish sea, with borders across several nations, is an uncharted niche in which novel microbial lineages may have adapted in unique physicochemical regimes [10-11]. The current study focused on the isolation and characterization of actinobacterial strains in Caspian Sea sediments and determination of their antimicrobial and antioxidant activities. Two strains, namely 1GP02 and 2H02, were characterized as belonging to the genera *Microbacterium* and *Micrococcus*, respectively. Biochemical and genetic characterization of the strains offers vital information regarding the adaptation mechanisms of actinobacteria in marine ecosystems and forms the basis of future bioprospecting activities.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Sampling of Sediment Materials

Sediment samples were sampled at three different sites along the Caspian Sea coast in Azerbaijan in the 2024 sampling (Table 1). Aseptic sampling was carried out with sterile falcon tubes and spatulas. The samples were directly shipped in refrigerated condition to the

microbiology laboratory and stored at 4 °C until the time of further treatment. The sites of the samples covered various ecological micro-environment of the Caspian Sea sediment.

Table 1. Sampling coordinates of sediment collection sites in the Caspian Sea

Sampling Location	Latitude (N)	Longitude (E)	Country
1st Location	40° 18' 8" N	49° 46' 54" E	Azerbaijan
2nd Location	40° 18' 12" N	49° 47' 14" E	Azerbaijan
3rd Location	40° 18' 10" N	49° 47' 2" E	Azerbaijan

2.2. Selective Isolation of Actinobacteria

Selective isolation of actinobacterial strains in this research was done by the dilution plate method. Sediment samples in the beginning were diluted (10^{-1}) in sterile saline and shaken for 30 min and then subjected to heat treatment at 60 °C for 20 min to discard non-sporulating bacteria. Serial dilutions until 10^{-4} dilutions were made and 100 μ L volumes for each dilutions were plated on selective isolation media such as the R2A agar [12], Marine Agar [13], Non-sporulating Agar [14], and Humic Acid-Vitamin Agar [15].

Plates were incubated at 28 °C for 28 days with intermittent observation every three days for colony growth. Colonies showing characteristic actinobacterial morphology were sub-cultured to get pure cultures.

2.3. Preservation of Isolates

The cultures in pure form were preserved in short term on R2A and Marine Agar slants at 4 °C and kept in 25 % glycerol suspensions at -80 °C and -20 °C for storage in the long term. Two characteristic isolates, namely 2H02 and 1GP02, were chosen in order to proceed with molecular and biochemical characterization in view of colony appearance and growth patterns.

2.4. Genomic DNA Extraction and 16S rRNA Gene Amplification

Genomic DNA was extracted in 7-day old GYM broth grown cultures with the PureLink® Genomic DNA Isolation Kit (Invitrogen, USA). The quality and integrity of the DNA were verified through agar gel electrophoresis (1 % agarose, 1x TBE buffer).

PCR amplification of the 16S rRNA gene was performed using universal primers 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') and 1525R (5'-AAGGAGGTGWTCARCC-3'). The reaction mixture contained GoTaq® Hot Start Colorless Master Mix (Promega), template DNA, primers, and sterile deionized water. Thermal cycling conditions included an initial denaturation at 94 °C for 2 min, followed by 35 cycles of denaturation (94 °C, 1 min), annealing (55 °C, 2 min), and extension (72 °C, 3 min), with a final elongation at 72 °C for 8 min.

Amplicons were purified and sequenced at Macrogen Inc. (Republic of Korea). The sequenced results were matched with the NCBI GenBank database by BLASTn, and the neighbor-joining method [16] with 1000 bootstrap replications [17] used for constructing the phylogenetic trees.

Amplicons were purified and sequenced by Macrogen Inc. (Netherland). The resulting sequences were compared to the EzBioCloud server, and phylogenetic trees were constructed using the neighbor-joining method [16] with 1000 bootstrap replicates [17].

2.5. Antimicrobial Activity Assay

The antimicrobial potential of isolates 1GP02 and 2H02 was tested against four bacterial and four fungal pathogens: *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Candida albicans* ATCC 18416, *Fusarium graminearum* ATCC 46779, *Aspergillus niger* ATCC 16404, and *Rhizoctonia solani* ATCC 10182.

The assay involved the modified chloroform vapour diffusion technique. Briefly, the isolates were grown on Bennett's agar [18] for 7 days at 28 °C. Plates were then subjected to vapour of chloroform during 40 min in order to inactivate the colonies. The colonies inactivated by the vapour of the chloroform were overlaid with the nutrient agar culture inoculated with the test pathogens (0.5 McFarland standard). The positive control discs (penicillin G 10 µg, polymyxin B 10 µg, amphotericin B 10 µg) and the negative controls (sterile discs by adding nutrient broth) were used for comparison purposes. Plates in 37 °C were incubated for bacteria and in 30 °C for fungi. The inhibition areas were determined after 48 h.

2.6. Antioxidant Activity Assay (DPPH Radical Scavenging Method)

The antioxidant potential was evaluated using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay [19].

The isolates in ISP2 broth (100 mL) at 28 °C for 10 days with shaking (150 rpm) conditions. The culture broths after incubation combined with methanol (1:2 v/v) and again shaken at 17 °C overnight. The extracts filtered and reduced at 40 °C to methanol the extracts then lyophilized to obtain the crude powder extracts.

For the assay, 2 mL of extracts at various concentrations (250, 500, 1000 µg/mL) were combined with 1 mL of DPPH solution (0.2 mM in methanol) and kept in the dark at room temperature for 40 min. The absorbance at 517 nm measured. Gallic acid was used as the positive control.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Isolation and Identification of Marine Actinobacteria

Twelve morphologically unique actinobacterial colonies had been separated out of sediment samples sampled during the Caspian Sea. Two of the isolates, namely 1GP02 and 2H02, were chosen to be subjected to in-depth molecular characterization due to their steady growth, pigment development, and colony appearance (Figure 1).



Figure 1. Representative isolation plates showing actinobacterial colony development on selective media. Colonies grown on non-sporulating agar (left) and R2A agar (right) display typical actinobacterial morphology following 28 days of incubation at 28 °C.

The 16S rRNA gene sequence analysis also showed that isolate 1GP02 had 99.58% similarity with *Microbacterium galbinum* KSW2-24^T, and 2H02 had 99.50% similarity with *Micrococcus luteus* NCTC 2665^T (Tables 2 and 3). The both isolates showed close clustering with reference strains in neighbor-joining trees for constructing phylogenetic trees, which supported their taxonomic positions within the genera *Microbacterium* and *Micrococcus*, respectively (Figures 2 and 3).

Table 2. Closest phylogenetic relatives of isolate *Microbacterium* sp. 1GP02 based on 16S rRNA gene sequence similarity.

No.	Closest Relative Strain	Accession Number	Sequence Similarity (%)	Nucleotide Difference (nt)
1	<i>Microbacterium galbinum</i> KSW2-24(T)	JAHWXM000000001	99.58	6/1444
2	<i>Microbacterium paraoxydans</i> NBRC 103076(T)	BCRH01000180	99.52	7/1447
3	<i>Microbacterium sufflavum</i> SSW1-47(T)	JAHWXK000000001	99.52	7/1447
4	<i>Microbacterium thalli</i> NM3R9(T)	KX940925	99.20	11/1382
5	<i>Microbacterium croceum</i> SSW1-49(T)	JAHWXN010000003	99.17	12/1446

Table 3. Closest phylogenetic relatives of isolate *Micrococcus* sp. 2H02 based on 16S rRNA gene sequence similarity.

No.	Closest Relative Strain	Accession Number	Sequence Similarity (%)	Nucleotide Difference (nt)
1	<i>Micrococcus luteus</i> NCTC 2665(T)	CP001628	99.50	7/1411
2	<i>Micrococcus endophyticus</i> YIM 56238(T)	EU005372	99.28	10/1384
3	<i>Micrococcus porci</i> KD337-16(T)	GCA_020097155.1_1	99.15	12/1410
4	<i>Micrococcus lacusdianchii</i> JXJ CY 30(T)	MW723387	98.51	21/1411
5	<i>Micrococcus antarcticus</i> T2(T)	AJ005932	98.51	21/1409

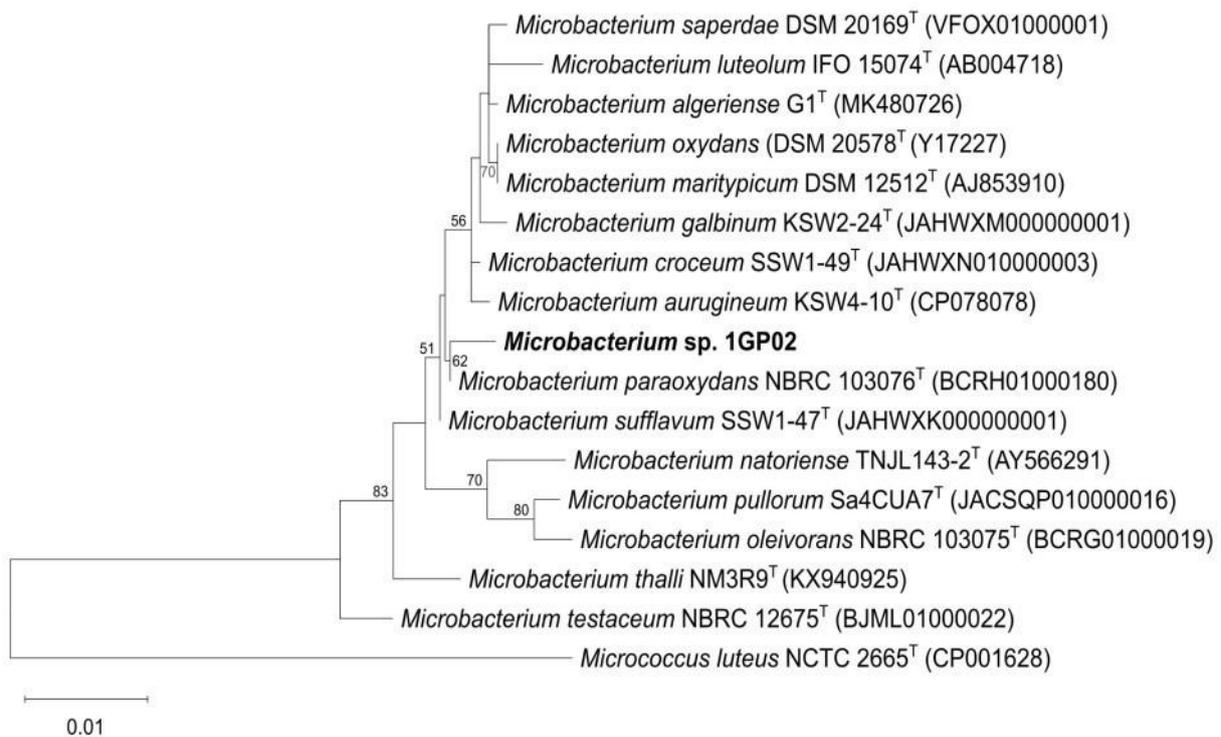


Figure 2. Phylogenetic tree based on 16S rRNA gene sequences showing the relationship between isolate *Microbacterium* sp. 1GP02 and closely related type strains. The tree was constructed using the neighbour-joining method with 1000 bootstrap replicates. *Micrococcus luteus* NCTC 2665^T was used as an outgroup. Bootstrap values above 50% are indicated at branch nodes.

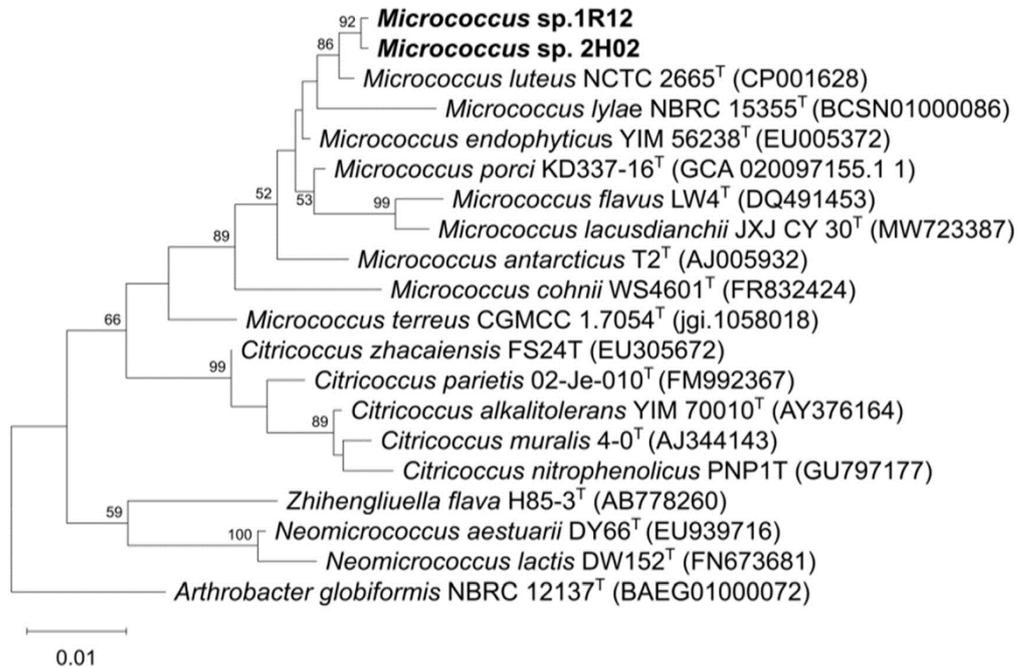


Figure 3. Phylogenetic tree based on 16S rRNA gene sequences showing the relationship between isolates *Micrococcus* sp. 1R12 and *Micrococcus* sp. 2H02 and their closest related species. The tree was constructed using the neighbour-joining method with 1000 bootstrap replicates. *Arthrobacter globiformis* NBRC 12137^T was used as an outgroup. Bootstrap values greater than 50% are displayed at the corresponding nodes.

These findings confirm that terrestrial-associated genera like *Microbacterium* and *Micrococcus* are capable of thriving in marine sediments and so may be adapted to tolerate saline environments physiologically. Comparable observations also featured in earlier accounts regarding marine strains of *Microbacterium* strains extracted from marine sediments [1, 4].

3.2. Antimicrobial Activity of the Isolates

Antimicrobial activities of the 1GP02 and 2H02 isolates were also screened against the panel of bacterial and fungal pathogens. Neither of the isolates did give any detectable inhibition zones against the tested organisms, suggesting the lack of appreciable antibacterial or antifungal activity in the culture conditions tested (Figure 4).



Figure 4. Representative antimicrobial activity assay plates showing inhibition zones for the positive control only. No inhibition zones were observed for actinobacterial isolates. From left to right: *Fusarium graminearum*, *Rhizoctonia solani*, and *Escherichia coli* were tested.

This inactivity does not always translate to a lack of bioactive potential. Just like in many studies established, biosynthesis of the secondary metabolite in the actinobacteria relies heavily on the environment and the nutrition [20-21]. There are some strains of the marine type that produce the bioactive compounds at limited salinity conditions, or in co-culture, or in the presence of the chemical elicitors. In such cases, optimization of the culture condition or genomic mining can unmask the cryptic biosynthetic gene clusters that lie dormant in ordinary laboratory conditions.

However, the lack of antimicrobial activity in this study is in contrast with the prominent behaviour of other sea actinobacteria like the *Micromonospora* species yielding phocoenamycin [22] or the *Streptomyces* species yielding polyketides with potential antibacterials [5].

3.3. Antioxidant Activity

Unlike antimicrobial activity, the two isolates exhibited moderate antioxidant capability by the DPPH radical scavenging assay. The radical scavenging activities of the isolates 1GP02 and 2H02 at 1000 µg/mL concentration were 71.1% and 68.5%, respectively, in comparison with 95.9% positive control of gallic acid (Table 4). The activities did not vary within tested concentrations which fell between 68-72%, in accordance with the reported antioxidant activities of some marine actinobacterial extracts [23-25].

Table 4. DPPH radical scavenging activity (%) of isolates *Micrococcus* sp. 2H02 and *Microbacterium* sp. 1GP02 compared with gallic acid at different concentrations.

Concentration (µg/mL)	2H02	1GP02	Gallik Asit
1000 µg/mL	68.54	71.1	95.9
500 µg/mL	70.6	72.03	95.8
250 µg/mL	69.8	71.8	95.5

The relatively high antioxidant activity can be explained by the presence of phenolic or polyketide-like metabolites that are widely observed in marine actinobacteria [26-27]. The known hydrogen-donating activity of such compounds makes them free-radical-scavengers that cannot allow the development of oxidation-stress.

Moderate scavenging of the Moderate DPPH observed herein indicates that the *Microbacterium* and *Micrococcus* strains may be valuable sources of cosmetic, nutraceutical, or pharmaceutical-formulation-compatible antioxidant substances that may replace synthetic ones like butylated hydroxytoluene (BHT) with natural alternatives.

3.4. Comparative Interpretation and Implications

The simultaneous molecular and biochemical evidence indicates that the antimicrobial potential of the isolates 1GP02 and 2H02 is modest, but their antioxidant capacity is potent and similar to that documented for various marine *Streptomyces* and *Micromonospora* strains. This evidence corroborates the hypothesis that marine actinobacteria tend to favor defense mechanisms against oxidative stress rather than antagonistic interactions in their natural environment, where stresses like salinity, fluctuation in oxygen, and ultraviolet radiation create selective pressure [5, 9].

In addition to this, the current research adds to the microbial diversity map of the Caspian Sea, which has hitherto been underrepresented in marine microbial research. The taxonomy of the isolates in the genus *Microbacterium* and *Micrococcus* points out the broad ecological amplitude of both the genera in connecting the soil and marine habitats.

These results are in agreement with the expanding awareness that marine-derived actinobacteria contain pools of interesting metabolites beyond antibiotics, such as antioxidants, enzyme poisons, and other metabolites of relevance to environmental and industrial biotechnology [8, 28].

4. GENERAL CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

This research unlocks the doors to the diversity and biochemical potential of Caspian Sea sediment marine actinobacteria hitherto unexplored at the microbiological level. The molecular identification and biochemical analysis of the biochemical characteristics of two typical strains, *Microbacterium* sp. 1GP02 and *Micrococcus* sp. 2H02, have proved that the latter taxa in the classical understanding related to soil habitats can also inhabit and adapt to marine sedimentary habitats.

The 16S rRNA gene analysis validated the taxonomic status of the both isolates and revealed close phylogenetic connections with some known reference strains. Although no detectable antimicrobial activity was revealed under the experimental conditions used, the isolates exhibited steady but average antioxidant activity with radical scavenging activities between 68-72%. The findings match well with known antioxidant activities of some other marine actinobacteria hitherto reported, which highlights them significantly as potential sources of naturally produced antioxidant molecules.

From the perspective of biotechnology, the results highlight the multidimensional metabolic capacity of marine-source *Microbacterium* and *Micrococcus* strains. By virtue of their antioxidant activities, such strains hold potential for future research applications in the cosmetic, nutraceutical, and pharmaceutical industry where the combating of oxidative pressure is essential. Additionally, the negativity in the respect of antimicrobial activity cannot be seen in terms of limitation since dormant biosynthetic gene groups may be switched on with different methods of cultivation, such as co-culture treatment, salt modulation, or chemical stimulation. Combinations of such methods with genome mining and metabolomic analysis may yield hitherto unknown secondary metabolites that may be of immense industrial or medicinal importance.

At the broader ecological scale, the findings contribute to an extension of knowledge regarding actinobacterial adaptation to brackish marine ecosystems. The Caspian Sea, with its distinctive salinity gradient and semi-enclosed status, provides the valuable model environment within which to explore microbial resilience and secondary metabolism within transitional ecological regimes.

In conclusion, the isolates reported here contribute to the growing recognition that marine microorganisms are valuable reservoirs of bioactive molecules not limited to antibiotics but encompassing a wide spectrum of compounds relevant to human health, environmental remediation, and sustainable biotechnology. Future research should aim to optimize cultivation conditions, sequence the complete genomes of the isolates, and characterize the metabolomic profiles responsible for their antioxidant activities. Such efforts will advance both our fundamental understanding of marine microbial ecology and our capacity to harness it for biotechnological innovation.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the project number 1919B012327410.

REFERENCES

- [1] Claverías, F. P., Undabarrena, A., González, M., Seeger, M., & Cámara, B. (2015). Culturable diversity and antimicrobial activity of Actinobacteria from marine sediments in Valparaíso Bay, Chile. *Frontiers in Microbiology*, 6, 737.
- [2] Biswas, K., Saha, S., & Chakraborty, A. (2014). Actinomycetes: Potential bioresource for human welfare: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(12), 661–675.
- [3] Oren, A., & Garrity, G. M. (2021). Valid publication of the names of forty-two phyla of prokaryotes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(10), 5056.
- [4] Kumar, R., Jadeja, P., & Pandya, S. (2014). Actinomycetes: Potential bioresource for human welfare: A review. *International Journal of Advanced Research*, 2(7), 421–429.

- [5] Maldonado, L. A., Fenical, W., Jensen, P. R., Kauffman, C. A., Mincer, T. J., & Ward, A. C. (2005). Diversity of cultivable actinobacteria in geographically widespread marine sediments. *Antonie van Leeuwenhoek*, 87(1), 11–18.
- [6] Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gavaut-Vaillant, N., Jacquard, C., Meier-Kolthoff, J. P., ... & Clément, C. (2016). Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(1), 1–43.
- [7] Solecka, J., Ziemska, J., Rajnisz, A., Laskowska, A., & Guśpiel, A. (2013). Actinomycetes: Occurrence and production of biologically active compounds. *Postępy Mikrobiologii*, 52(1), 83–91.
- [8] Rathore, D. S., Sheikh, M., & Singh, S. P. (2020). Marine Actinobacteria: New horizons in bioremediation. In *Recent Developments in Microbial Technologies* (pp. 425–449). Springer Nature Singapore.
- [9] Dahal, R. H., Shim, D. S., & Kim, J. (2017). Development of actinobacterial resources for functional cosmetics. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 16(2), 243–252.
- [10] Dumont, H. (1995). Ecocide in the Caspian Sea. *Nature*, 377(6551), 673–674.
- [11] Mahmoudi, N., Bonin, P., Pringault, O., & Michotey, V. (2015). Microbial community composition and diversity in Caspian Sea sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 91(1), 1–13.
- [12] Reasoner, D. J., & Geldreich, E. (1985). A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Applied and Environmental Microbiology*, 49(1), 1–7.
- [13] ZoBell, C. E. (1941). Marine microbiology. *Journal of Bacteriology*, 42(1), 81–102.
- [14] Sanglier, J. J., Whitehead, D., Saddler, G. S., Ferguson, E. V., & Goodfellow, M. (1992). Pyrolysis mass spectrometry as a method for the classification, identification and selection of actinomycetes. *Gene*, 115(1–2), 235–242.
- [15] Hayakawa, M., & Nonomura, H. (1987). Humic acid–vitamin agar, a new medium for selective isolation of soil actinomycetes. *The Journal of Fermentation Technology*, 65(5), 501–509.
- [16] Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4(4), 406–425.
- [17] Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, 39(4), 783–791.
- [18] Jones, K. L. (1949). Fresh isolates of actinomycetes in which the presence of sporogenous aerial mycelia is a fluctuating characteristic. *Journal of Bacteriology*, 57(2), 141–145.
- [19] Priya, V., Srinivasan, M., & Natarajan, D. (2010). Evaluation of antioxidant activity of some selected marine actinobacteria. *African Journal of Biotechnology*, 9(34), 5645–5649.
- [20] Berdy, J. (2005). Bioactive microbial metabolites. *The Journal of Antibiotics*, 58(1), 1–26.
- [21] Alam, K., Mazumder, A., Sikdar, S., Zhao, Y. M., Hao, J., Song, C., & Li, A. (2022). Streptomyces: The biofactory of secondary metabolites. *Frontiers in Microbiology*, 13, 968053.

- [22] Pérez-Bonilla, M., Sánchez, S., González, I., & Genilloud, O. (2018). Phocoenamicins B and C, new antibacterial spirotetronates isolated from a marine *Micromonospora* sp. *Marine Drugs*, 16(3), 95.
- [23] Agour, A., Abd-Alla, H. I., Elkhateeb, W. A., & Abdel-Razek, A. S. (2022). Antioxidant and antimicrobial potential of marine Actinomycete AW6. *Marine Drugs*, 20(6), 350.
- [24] Bhushan, B., Joshi, P., & Raghuvanshi, R. (2016). Antioxidant potential of marine actinobacterial isolates PWS-A. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 8(2), 222–228.
- [25] Raghawendra, P., Gaurav, S., & Ashish, P. (2017). DPPH scavenging activity of *Streptomyces variabilis* isolates. *BMC Microbiology*, 17(1), 102.
- [26] Yoo, K.-M., Lee, C. H., Lee, H., Moon, B., & Lee, C. Y. (2007). Evaluation of different methods of antioxidant measurement. *Food Science and Biotechnology*, 16(2), 177–182.
- [27] Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
- [28] Trujillo, M. E., Kroppenstedt, R. M., Schumann, P., Carro, L., & Martínez-Molina, E. (2015). Endophytic Actinobacteria and the interaction of *Micromonospora* with nitrogen-fixing plants. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1341.

AQUACULTURE AND PROBIOTICS: A PATHWAY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN

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

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

ABSTRACT

Probiotics, which have become quite popular among healthy living trends in recent years, have various functions in maintaining the body's natural balance. Nowadays, sustainable aquaculture has become a sector that contributes to the economic development of countries, as well as its strategic importance in terms of food security. Environmental, economic and social sustainability of the sector should be ensured by using environmentally friendly production techniques in aquaculture. This study is focused on aquaculture and probiotics. Probiotics provide many benefits in aquaculture depending on their different modes of action. It is possible and safe to use probiotics as an alternative to antibiotics in preventive treatment. In recent years, significant productivity increases have been achieved as a result of the more widespread use of probiotics, especially in aquaculture. In the near future, probiotics will be used more effectively and widely. Therefore, increasing the use of probiotics in aquaculture is very important to make the cultured species healthier and safer. However, there is a need to further increase studies on the use of probiotics in aquaculture and correlate them with water quality. More responsible and inclusive practices regarding probiotics should be encouraged.

Keywords: Aquaculture, Probiotics, Health, Nutrition, Water, Quality.

1. INTRODUCTION

The probiotic means “for living things” (pro and bios in Latin). Probiotics are defined as live microorganisms that, when consumed in sufficient amounts, have beneficial effects on the host's health by improving the microorganism balance in the host's intestine (Geier et al, 2007). Probiotics are live microbial feed supplements that beneficially affect the host by improving intestinal microbial balance. This definition includes preparations designed to have probiotic effects, as well as so-called functional foods that contain live bacteria that primarily aid nutrition but also incidentally have health benefits (Fuller, 2006). For a microorganism to be considered a probiotic, it must have various properties. Some of these features; being safe, not causing any side effects when used in humans and animals, being able to adhere to intestinal cells, being able to colonize in the intestines, being effective when taken orally, being metabolized in the intestines, maintaining viability, inhibiting pathogenic bacteria, producing antimicrobial substances, being resistant to antibiotics and being multi-strain for the preparation of products (Bakır, 2012).

Aquaculture is defined as the controlled or semi-controlled cultivation of animal and vegetal aquatic creatures within the human factor for food, stock supplementation, scientific research, ornamental and hobby purposes (Dirican, 2013). In aquaculture, the organism to be grown must first have high economic value and appropriate biological properties. Aquaculture is one of the fastest growing sectors in the World and Turkey. Significant developments have occurred in aquaculture, especially in the last 30 years. The global production amount in aquaculture continues to increase every year. Nutrition is one of the most important needs for humans. Sustainable and healthy approaches to feeding the growing world population are more critical today than ever. Aquaculture is essential or necessary, as fisheries capture reaches its harvesting capacities. Aquaculture makes significant contributions to quality, healthy, traceable and reliable protein production. Every step in the aquaculture production chain has certification capability. Aquaculture begins in hatcheries and ends in processing plants where it is prepared for delivery to the end consumer. Best aquaculture practices ensure the environmental, social, reliability and health of the species grown at every step of the production chain. For this reason, aquaculture should be protected and developed in coordination with other existing standards.

Broad-spectrum antibiotics have been used extensively in the treatment of bacterial diseases in aquaculture. As a result of the continuous and unconscious use of antibiotics, the development of resistance in bacteria to antibiotics has emerged, and in addition, antibiotic accumulation has been observed in tissues. Due to their potential to harm the environment and humans, the use of antibiotics as feed additives in aquaculture has been banned and serious restrictions have been imposed on their other uses. Therefore, there is a need to use non-chemotherapeutic probiotics, immunostimulants, vaccines and natural therapeutic substances obtained from plants in aquaculture to control diseases and improve health (Hoseinifar et al. 2017; Miandare et al. 2017; Sivasankar et al. 2017; Yazıcı, 2017; Elshopakey et al. 2018; Yazıcı and Mazlum, 2019). The first application of probiotics was in 1986 to test their ability to enhance the growth of aquatic organisms. Later, probiotics were used to improve water quality and control bacterial infections. There is now documented evidence that probiotics can increase the digestibility of nutrients, increase tolerance to stress, and promote reproduction (Cruz et al. 2012). For these reasons, the importance and use of probiotics in aquaculture is becoming increasingly widespread. This study is focused on aquaculture and probiotics.

2. ORGANISM SPECIES USED AS PROBIOTICS IN AQUACULTURE

The intestinal microflora of aquatic species can change rapidly with the ingestion of microorganisms from feed and water. The microflora found in bivalves is very similar to the microorganisms found in water and sediment. The effect of probiotics taken with live food is especially important during the first feeding. Probiotics include different species of bacteria, bacteriophages, microalgae and yeasts that are widely used in aquaculture through water routine or feed supplements (Llewellyn et al. 2014; Hoseinifar et al. 2018). The majority of probiotics recommended as biological control agents in aquaculture are lactic acid bacteria (*Lactobacillus* ve *Carnobacterium*), *Vibrio* (*Vibrio alginolyticus*, *Vibrio salmonicida*), *Bacillus* (*Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*) and *Pseudomonas* (*Pseudomonas fluorescens*) bacteria. In addition, *Aeromonas* and *Flavobacterium* species also have probiotic effects. The strains whose effects on aquatic species are evaluated are generally *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus sporogenes*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus*

plantarum, *Carnobacterium divergens*, *Lactococcus lactis* and *Pediococcus acidilactici*. Other commonly used probiotics are spore-producing *Bacillus* species and yeasts. The adhesion abilities, bacteriocin production and immune system stimulating effects of *Bacillus* species have been proven. Since they are in sports form, they have a long shelf life. *Saccharomyces cerevisiae* is a widely used yeast species that has been observed to produce inhibitory substances with proven immune system stimulating effects (Casteks et al. 2008; Kesarcodi et al. 2008; Koca et al. 2011; Öztürk et al. 2017).

3. FUNCTIONS OF PROBIOTICS IN AQUACULTURE

Nowadays, the widespread use of antibiotics to control diseases in aquaculture is decreasing. Alternative methods are used to control the spread of diseases in aquaculture. Probiotics, one of the most important of these alternative methods, have important and positive effects on health. Probiotics are non-metabolizable food components that selectively increase the activity or development of a limited number of beneficial bacteria in the large intestine and beneficially affect the health of the organism. However, in order for these nutrients to be called probiotics; It must pass through the stomach and small intestine without being hydrolyzed, and it must have nutritional properties for the beneficial bacteria present in the large intestine and have an effect that stimulates their proliferation. Probiotics are fermented by beneficial microorganisms in the intestine, and the resulting metabolite products provide an energy source for the microflora. Probiotics also have properties such as providing less energy, having a low glycemic index, and increasing stool volume and frequency. Probiotics increase the absorption and bioavailability of minerals such as calcium and magnesium, positively affect the structure and activity of the intestinal microflora, regulate intestinal movements and prevent the proliferation of disease-causing microorganisms.

The use of probiotics in food ingredients is increasing in the processes of eliminating disease factors that cause economic and environmental losses in aquaculture or raising individuals resistant to infections during the feeding and growing stages of the products produced. In aquaculture, probiotics have an important role in the immune system by changing the bacterial flora of the digestive system, as well as contributing to the development of the immune system and growth rate. Probiotic intake depends on the types of ingredients used in the nutritional formulation. Therefore, the contribution of prebiotics to performance varies greatly between species and their diets. Probiotics to be used in feed in aquaculture vary depending on the specific characteristics of that organism (species, age, production stage) and the content of the diet type. Probiotics increase the host's protection against infections by producing substances that stimulate the immune system of the living organism and therefore can have an effective energy-providing role. In addition, probiotics also contribute to digestive function through their activation of the production of vitamins and enzymes (Ramirez and Dixon, 2003; Merrifield et al. 2010). From these perspectives, probiotics have an important place among the additives that cannot be ignored in aquaculture.

In probiotic bacteria selection methods, historical information should be collected for use in aquaculture and potential probiotics should be obtained. It is necessary to test the pathogenicity of potential probiotics, evaluate the effect of potential probiotics on the host, and perform economic profit or loss analysis (Balcazar et al. 2006; Koca et al. 2011). As a result of the use of probiotics, the intestinal flora of humans and animals can be regulated and the

development of living things can be accelerated by reducing intestinal problems. Probiotics are live single or mixed microorganism cultures that have beneficial effects on the host by improving the properties of the resident microflora in humans or animals, creating positive effects by improving health and increasing feed conversion. It also regulates and reconstructs the microflora of living things damaged by antibiotic use. While the embryonic development of humans and animals takes place in the amnion, the larval state of many fish and seafood is released into the external environment in the first ontogenetic phase. These larvae are exposed to high levels of dysregulation of the digestive tract microflora. Because these larvae begin to take feed even though their digestive systems and immune systems are not fully developed. For this reason, probiotic applications should be preferred especially during the larval period. Disinfectants and drugs applied intensively to the rearing water in intensive marine fish larvae rearing negatively affect the development of the protective gastrointestinal microflora of the reared fish, and the larvae become more sensitive to disease and stress. Stress occurs in fish due to high stock density, longitude and low water quality. Stress occurs in fish due to high stock density, separation size, and low water quality. This situation causes massive fish deaths. Probiotics are applied by adding them to artificial feed, live feed culture (rotifer, artemia) and larval rearing water (Öztürk et al. 2017). For these reasons, probiotics are used in aquaculture to increase production, improve water quality, increase resistance to diseases, and reduce the use of antibiotics and chemicals.,

As the world population increases, the need for food also increases. Aquaculture comes to the fore to meet this increasing demand in a more sustainable way. Aquaculture is not only a source of food but also a source of livelihood. The demand for aquaculture is expected to increase every year. Considering its size and diversity, the aquaculture sector has received more attention in recent years due to both its opportunities and challenges. Aquaculture offers significant advantages to achieve social, economic, environmental, nutritional, health, food security and employment benefits. Sustainable aquaculture can be done from a holistic perspective. It must be ensured that the safe and healthy food supply obtained from aquaculture is sustainable. Access to aquaculture is not equal around the world. By creating sustainable aquaculture systems, the availability and affordability of aquatic products for all consumers should be improved. By creating the right conditions for positive progress in aquaculture, a solid foundation must be established for future generations. Feed expenses constitute approximately 70 percent of the costs in aquaculture. Therefore, the most important cost in aquaculture is feed input. For this reason, the feed cost in aquaculture should be positively optimized and the best feeding strategy should be determined. Creating the best nutrition strategy not only increases the resistance of aquatic products to infections, but also increases the rate of survival in a healthy way up to marketable size. However, many studies have been carried out in recent years on the use of probiotics in aquaculture. Therefore, in aquaculture, the use of probiotics in feed has been increasing in recent years for reasons such as increasing growth, gaining live weight, effectively controlling fish diseases and preventing contamination, strengthening the immune system of fish, reducing feed costs, and reducing mortality. This situation is especially important in the larval period. However, the most important problem in the use of probiotics is that probiotics are live microorganisms and cannot maintain their viability during production or storage. This reduces the efficiency of probiotic use. This problem can be significantly reduced with the encapsulation method. Encapsulation can be

defined as the confinement of a substance within another substance. Probiotics are encapsulated with a suitable carrier material and become more resistant to the processes to be applied. Dropping and emulsion are the most successful encapsulation methods in probiotic encapsulation. With microencapsulation using these two methods, the survival rates of probiotics are increased by 80 to 95 percent (Ergen and Seyhun, 2017). In this way, it is expected that encapsulated probiotic feeds will be more effective than non-encapsulated probiotic feeds on the growth rate and quality parameters of the cultured species. Therefore, with the use of probiotics in feed, drug and general production costs will be greatly reduced, thus making important progress in feed utilization and protecting the health of aquaculture at low cost.

4. CONCLUSION

Probiotics are important for safe and healthy production in aquaculture. Probiotics are given with feeds. Probiotics have some beneficial effects in aquaculture. Probiotics have an antimicrobial effect and compete with pathogens by secreting antibacterial substances. However, probiotics can regulate the body's allergic response by modulating the immune system. Additionally, probiotics improve the water quality of aquaculture systems. There will be significant productivity increases as a result of the more widespread use of probiotics in aquaculture. Therefore, increasing the use of probiotics in aquaculture will contribute to making the cultured species healthier and safer. However, there is a need to further increase studies on the use of probiotics in aquaculture and correlate them with water quality. In this context, creating stakeholder partnerships and sector-wide dialogue and governance approaches should be developed. Policies are needed from local to international levels to promote and implement more responsible and inclusive practices and encourage investment.

REFERENCES

- Bakır, B.O. 2012. An Overview to Prebiotics, Probiotics and Synbiotics. *Journal of Nutrition and Dietetics*, 40(2): 178-182.
- Balcazar, J.L., Blas, I., Zarzuela, I.R., Cunningham, D., Vendrell, D., Muzquiz, J.L., 2006. The Role of Probiotics in Aquaculture. *Veterinary Microbiology*, 114: 173-186.
- Casteks, M., Chim, L., Pham, D., Lemaire, P., Wabete, N., Nicolas, J.L., Schmidely, P., Mariojous, C., 2008. Probiotic *P. acidilactici* Application in Shrimp *Litopenaeus stylirostris* Culture Subject to Vibriosis in New Caledonia. *Aquaculture*, 275: 182-193.
- Cruz, P.M., Ibanez, A.I., Hermosillo, O.A.M., Saad, H.C.R. 2012. Use of Probiotics in Aquaculture. *International Scholarly Research Network ISRN Microbiology*, 1-13.
- Dirican, S. 2013. Aquaculture Situation in Sivas. *Harran Journal of Agricultural and Food Science*, 17(2): 9-14.
- Elshopakey, G.E., Risha, E.F., Abdalla, O.A., Okamura, Y., Hanh, V.D., Ibuki, M., Sudhakaran, R., Itami, T. 2018. Enhancement of Immune Response and Resistance Against *Vibrio parahaemolyticus* in Kuruma Shrimp (*Marsupenaeus japonicus*) by Dietary Supplementation of β -1,4-mannobiose. *Fish and Shellfish Immunology*, 74: 26-34.

- Ergen, S., Seyhun, N. 2017. Use of Encapsulated Probiotics in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farming. 19th National Fisheries Symposium, 12-15 September 2017, Sinop, Turkey, Abstract Book, 249 pp.
- Fuller, R., 2006. Reasons for the Apparent Variation in the Probiotic Response. *Biologist*, Section Cellular and Molecular Biology, 61(6): 751-754.
- Geier, M.S., Butler, R.N., Howarth, G.S. 2007. Inflammatory Bowel Disease: Current Insights into Pathogenesis and New Therapeutic Options; Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 115: 1-11.
- Hoseinifar, S.H., Dadar, M., Ringo, E. 2017. Modulation of Nutrient Digestibility and Digestive Enzyme Activities in Aquatic animals: The Functional Feed Additives Scenario. *Aquaculture Research*, 1-14.
- Hoseinifar, S.H., Sun, Y.Z., Wang, A., Zhou, Z. 2018. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, A Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 9(2429): 1-18.
- Kesarcodi, A.W., Kaspar, H., Lategan, M.L.J., Gibson, L. 2008. Probiotics in Aquaculture: The Need, Principles and Mechanism of Action and Screening Processes. *Aquaculture*, 274: 1-14.
- Koca, S.B., Didinen, B.I., Ekici, S., Dulluç, A. 2011. Applications of Probiotic in Aquaculture. *Journal of FisheriesSciences.com*, 5(4): 326-335.
- Llewellyn, M.S., Boutin, S., Hoseinifar, S.H., Derome, N. 2014. Teleost Microbiomes: The State of the Art in Their Characterization, Manipulation and Importance in Aquaculture and Fisheries. *Frontiers in Microbiology*, 5(207): 1-17.
- Merrifield, D.L., Dimitroglou, A., Foey, A., Davies, S.J., Baker, R.M.T., Bogwald, J., Castex, M., Ringo, E. 2010. The Current Status and Future Focus of Probiotic and Prebiotic Applications for Salmonids. *Aquaculture*, 302: 1-18.
- Miandare, H.K., Mirghaed, A.T., Hosseini, M., Mazloumi, N., Zargar, A., Nazari, S. 2017. Dietary Immunogen Modulated Digestive Enzyme Activity and Immune Gene Expression in *Litopenaeus vannamei* Post Larvae. *Fish and Shellfish Immunology*, 70: 621-627.
- Öztürk, F., Hamzaçebi, S., Sürengil, G., Gündüz, H. 2017. The Importance of Probiotic Use in Aquaculture. 19th National Fisheries Symposium, 12-15 September 2017, Sinop, Turkey, Abstract Book, 230 pp.
- Ramirez, R.F., Dixon, B.A. 2003. Enzyme Production by Obligate Intestinal Anaerobic Bacteria Isolated from Oscars (*Astronotus ocellatus*), Angel Fish (*Pterophyllum scalare*) and Southern Flounder (*Paralichthys lethostigma*). *Aquaculture*, 227: 417-426.
- Sivasankar, P., John, K.R., George, M.R., Anushalini, S.V., Kaviarasu, D., Petchimuthu, M. 2017. Prophylactics in Shrimp Aquaculture Health Management: A Review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5(4): 1049-1055.
- Yazıcı, M. 2017. Effects of Some Prebiotics on Immunity and Disease Resistance in Cultured Fish. *Yunus Research Bulletin*, 17(4): 429-449.
- Yazıcı, M., Mazlum, Y. 2019. Prebiotic Applications in Cultured Crayfish and Shrimps. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Agriculture and Nature*, 22(1):153-163.

EXPLORING THE POTENTIAL FOR ALGAE AND THEIR ANTIMICROBIAL EFFECTS

Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN

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

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

ABSTRACT

Among many organisms living in aquatic ecosystems, algae have a great deal of functional properties and biological diversity. Algae are the basic producers of oxygen that living things need. Algae, which are divided into two groups as micro and macro algae, are natural sources that perform primary production through photosynthesis. In addition, algae greatly increase the organic matter of the aquatic ecosystems they are in. Accordingly, aquatic ecosystems where algae are found are extremely productive and are a source of food for other living things to live. In these aspects, algae form the basis of the food chain in aquatic ecosystems. Algae are used in many different areas such as health protection, balanced nutrition, food support, animal feed, agricultural fertilizer, cosmetics and similar thanks to the valuable metabolites they store in their bodies. In recent years, studies on the research of antimicrobial substances on algae have been increasing in the world. This study focuses on algae and their antimicrobial effects. The word antimicrobial has a very wide scope and includes both antibiotic and chemotherapeutic words. Antimicrobial substances prevent the development of microorganisms at very low concentrations. Antimicrobial substances are widely found in algae. However, algae are still not sufficiently valued biological resources in this regard. The biological origin of algae provides a great advantage for the production of antimicrobial substances. In this context, algae can be used as antimicrobial substances for new drugs produced for the treatment of infectious diseases. However, it is important to increase awareness of global antimicrobial resistance and to encourage general public health good practices to prevent the spread of drug-resistant infections.

Keywords: Algae, Antimicrobial, Effect, Functional Products.

1. INTRODUCTION

Plants are used in the treatment of diseases in various countries and are potential sources of many drugs. Plants have many medicinal values, including antimicrobial properties. Despite the increase in antibiotic resistance in bacteria in recent years, the lack of resistance to plants and plant products that exhibit antimicrobial properties attracts researchers even more. Disease agents can quickly create resistant strains against synthetic drugs and render the drugs ineffective. On the other hand, many active substances are found together in plants and it is more difficult for disease agents to dissolve this structure and create resistance (Özcan, 2013).

Antimicrobial compounds of plants are usually found in the essential oil part. These compounds are also responsible for the characteristic aroma and flavor of the plant. They are usually obtained from plants by steam distillation. The antimicrobial effect depends on the type of plant, its composition and concentration, the type and load of the target microorganism, the composition of the food, and the processing and storage conditions. Proteins, lipids, salts, pH value, and temperature are the factors affecting the antimicrobial effects of phenolic substances (Faydaoğlu and Sürücüoğlu, 2013).

Antimicrobial substances are secondary metabolites that prevent microorganism growth. Antimicrobials can be “fungistatic” or “bacteriostatic”, which prevent microorganisms from reproducing, or “fungicidal” and “bacteriocidal”, which cause the death of microorganisms. Antimicrobials, which are organic natural products produced by microorganisms, are low molecular weight and have selective toxicity properties, so they are harmful to microorganisms even at very low concentrations and do not cause any harm to the host organism (Peksezer, 2022). Antimicrobials are used to combat diseases in humans, animals and plants. Antimicrobial resistance occurs when bacteria, viruses, fungi and parasites change over time and previously effective drugs become ineffective against them. In this case, widespread infection treatment becomes difficult and increases the risk of serious illness and death. The only solution for sustaining the effectiveness of microbial agents in future generations is rational and effective use. In order to achieve this, first of all, it is necessary to diagnose infections correctly using evidence-based diagnostic methods. Antimicrobials should only be used in cases prescribed by a physician, under the consultancy of a pharmacist, in appropriate amounts and for appropriate periods (URL-1, 2024). People with chronic diseases have to use regular and long-term medications. Antimicrobial agents are sometimes used together with these medications. It is thought that the potential antimicrobial efficacy of long-term medications and their interactions with other antimicrobial agents may affect the antimicrobial susceptibility of microorganisms. Therefore, in people using long-term medications, the development of resistance to antimicrobial agents should be considered in adjusting drug selection, doses and combined use (Salan, 2024).

Algae are at the forefront of the search for raw materials shaped by the needs of various industries. Thanks to the biological effects of secondary metabolites such as proteins, peptides, fatty acids, phlorotannins, polysaccharides, terpenes, polyacetylenes, and sterols found in their composition, their areas of use continue to spread in a wide range. Algae oils, which contain bioactive molecules such as polyunsaturated fatty acids, vitamins, phenolic compounds, and terpenes in high concentrations, have antibacterial, antitumor, anti-inflammatory, antioxidant, and antiproliferative properties. Approximately 70 percent of algae have antibacterial and 27.5 percent antifungal effects. For these reasons, algae constitute a rich source of active molecules against pathogenic microorganisms. Algae are characterized as functional components due to their rich bioactive properties. With these potentials, algae have the potential to create an innovative and large market for the future. The market for algal products is expected to reach 3451 million dollars globally by 2025. However, despite these, algae have still not taken the place they deserve in the world in terms of their antimicrobial effects (Aras and Sayın, 2020). This study focuses on algae and their antimicrobial effects.

2. ANTIMICROBIAL EFFECT ANALYSIS METHODS

Antimicrobial effect studies are performed to determine whether newly synthesized, isolated or previously unproven molecules have a lethal or proliferative effect on microorganisms. The lowest dose of substance concentration at which activity is determined is called the “Minimum Inhibitory Concentration”. Before starting the tests to determine the effect, it should be decided which effect test will be performed. When making this selection, the number of substances, the amount of substance, solubility, the characteristics of the microorganism to be used and the number of microorganisms are taken into consideration (Salan, 2024).

The most commonly used antimicrobial susceptibility tests in algae are disk diffusion tests and dilution tests. The diffusion method is widely preferred to evaluate antibacterial and antifungal activity. In this method, the test material diffuses in agar and inhibits the test microorganisms as far as the distance it diffuses. The dilution method is based on diluting antibiotics in liquid or solid media and adding an equal amount of a suspension of bacteria containing a certain number of cells to be determined for sensitivity to each dilution medium (Vehapi, 2016). In tubes where the concentration of the antimicrobial substance is below the inhibitor concentration, the suspension appears cloudy, while in tubes where the concentration of the antimicrobial substance is higher than the inhibitor level, the suspension appears clear.

3. ANTIMICROBIAL EFFECTS AND IMPORTANCE IN ALGAE

Antimicrobial substances are substances used to stop the proliferation of microorganisms or to kill them. In this way, infectious agents can be controlled before they spread to the surrounding area, infect other people and spread the infection, and time is gained for the necessary protective and therapeutic measures. Antimicrobial drugs have been quite effective in the treatment of infections for a long time. However, the emergence of some resistant pathogens against antimicrobial agents and the emergence of undesirable side effects have limited the treatment possibilities of these agents. Accordingly, natural or synthetic antimicrobial agents with new active compounds are needed to control infections. Due to the toxicity seen in synthetic antimicrobials, the tendency towards natural antimicrobial agents is higher. Plants, on the other hand, have a great potential in terms of natural antimicrobial resources. Plants produce antimicrobial compounds to protect themselves from biotic attacks such as microbial infections. For this reason, plants and herbal products are used in studies on their effects against microorganisms (Özcan, 2013).

The antimicrobial effect of algae varies depending on geographical conditions and seasonal changes (Öztürk and Hamzaçebi, 2019). The highest antibiotic production in algae is found in the meristematic regions of algae, in young tissues that actively play a role in growth. Algae produce a large amount of chemically active metabolites in their structures. These bioactive components have been defined as phenolic compounds, sterols, carotenoids, heterocyclic, terpenoids, phycocolloids, lectins, sulfated polysaccharides, amino acid-like mycosporins, halogenated compounds, polychaetes, glucans and toxins. Antimicrobial, antifouling, antiviral, cell growth inhibitory properties, antithrombotic and anticoagulant produced by algae are metabolites that have many biological effects beneficial for human health. Chemicals responsible for antibiotic effects in algae include halogenated alkanes, halogenated compounds such as alkenes, haloforms, alcohols, hydroquinones, terpenoids,

aldehydes, ketones, sterols, heterocyclic and phenolic compounds (Peksezer, 2022). Compounds with antimicrobial effects found in some algae species are presented in Table 1.

Table 1. Antimicrobial compounds found in some algae species.

Algae Species	Antimicrobial Compounds
<i>Enteromorpha prolifera</i>	Sulfated polysaccharide
<i>Sargassum thumbergii</i>	Phlorotannins
<i>Euheuma serra</i>	Lectins
<i>Cystoseria myrica</i>	Fucoidan
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Bromophenols
<i>Laminaria hyperborea</i>	Laminarin rich extracts
<i>Gigartina skottbergii</i>	Sulfated polysaccharide
<i>Fucus spiralis</i>	Phlorotannins
<i>Cladophora rupestris</i>	Polyphenolic rich extracts
<i>Himanthalia elongate</i>	Fucoxanthin
<i>Turbinaria turbinata</i>	Sulfated fukan
<i>Cystophora torulosa</i>	Resorcinol
<i>Cystophora scalaris</i>	Floroglucinol
<i>Dictyota dichotoma</i>	Dolabellane, Perhydroazulene
<i>Ptilonia australasica</i>	Pentabromopyron
<i>Delisea hypnoides</i>	Tribromo
<i>Delisea fimbriata</i>	Fimbroliid
<i>Rhipocephalus phoenix</i>	Sesquiterpenler
<i>Udotea conglutinata</i>	Diterpenler
<i>Udotea flabellum</i>	Diterpenler
<i>Bryopsis sp.</i>	Kahalalid A ve F
<i>Chlorella vulgaris</i>	Kantaksantin, Astaksantin
<i>Chlorella minutissima</i>	Eikosapentaenoik asit (EPA), Fitol, Fenol
<i>Chlorella protothecoides</i>	Lutein, Zeaksantin, Kantaksantin

(Reference: Taşkın et al. 2010; Vehabi, 2016; Afzal et al. 2023).

Today, due to the high costs required for the identification and development of synthetic antimicrobial agents and the need for efficient use of time, studies have shifted towards the field of finding and developing natural active ingredients. It is thought that when antimicrobial agents are obtained from natural sources, the side effects caused by synthetic agents will also be eliminated and they can be alternatives for species that have developed resistance to some antibiotics. For this reason, studies on antimicrobial agents have turned to the search for raw materials from natural sources (Çakı, 2009). In recent years, studies on antimicrobial agents in algae, which are natural biological sources, have gained momentum.

Of the algae species collected by Pelegrin and Monales, (2004), 18 showed antimicrobial activity, while 3 did not. All species that showed antimicrobial activity were effective against gram-positive bacteria, but showed very low activity against gram-negative bacteria. *Ceramium nitens* was determined to have the highest activity among the tested species.

All extracts of *Cystoseira mediterranea*, *Enteromorpha linza*, *Ulva rigida*, *Gracilaria gracilis* and *Ectocarpus siliculosus* species collected by Tüney et al. (2006) showed activity against all test microorganisms.

Of the 82 different algae species collected by Salvador et al. (2007), 67 percent showed activity against at least one of the six test microorganisms. While 84 percent of Phaeophyceae species showed activity, these were followed by Rhodophyceae species with 67 percent and Chlorophyceae species with 44 percent. In addition, the highest and broadest spectrum activity was found in Rhodophyceae species. In addition, the highest activity rate was found in Phaeophyceae and Rhodophyceae in samples collected in autumn, and the highest activity was found in Chlorophyceae in samples collected in summer.

Corallina officinalis was the species with the highest activity among the 6 algae species collected by Taşkın et al. (2007), while *Dictyota dichotoma* and *Halopteris filicina* were the species with the lowest activity against the test microorganisms.

Caulerpa peltada extract showed activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus faecalis* (Kolanjinathan et al. 2009).

Christabell et al. (2011) it was observed that extracts obtained from *Sargassum wightii* and *Padina tetrastratica* were effective against *Staphylococcus aureus* and *Vibrio harveyi*.

Microalgae are an important source of antibiotics with a wide range of antibacterial effects. The antimicrobial effect of these microorganisms depends on the ability to synthesize compounds such as fatty acids, acrylic acids, halogenated aliphatic compounds, terpenoids, sterols, sulfur-containing heterocyclic compounds, carbohydrates, acetogenins and phenols. The antimicrobial effect of microalgae extracts is related to their lipid composition. The mechanism of action of fatty acids affects various structures of microorganisms, especially cell membranes. Membrane damage leads to loss of intracellular substances and the entry of harmful components reduces nutrient absorption, and in addition, cellular respiration is inhibited. The ability of fatty acids to interfere with bacterial growth depends on their chain length and degree of unsaturation (Demorais et al. 2015).

Algae have antimicrobial effects against pathogenic microorganisms. Ethanol and lipid extracts of algae are effective against gram-positive and gram-negative bacteria, and acetone extracts have both antimicrobial and cytotoxic effects on four different human cancer cell lines (Perez et al. 2016).

Lauritano et al. (2018) reported that extracts obtained from two different diatom species, *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros pseudocurvisetus*, showed different antimicrobial effects against *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium bovis*. In addition, it was revealed that extracts obtained from these two different diatom species have antituberculosis effects.

Freitas et al. (2020) reported that extracts obtained from *Fucus spiralis* can be used in maintaining a healthy skin microbiota and in cosmetics applied to the skin.

Peksezer (2022) determined *Halopithys incurva*, which belongs to Rhodophyta, as the most effective species against bacteria and fungi in terms of antimicrobial effect.

Vahdati et al. (2022) reported that methanol and ethyl acetate extracts obtained from green algae species have antibacterial effects against gram-positive and gram-negative bacteria. In addition, both of these extracts showed more antibacterial activity against gram-positive bacteria than against gram-negative bacteria.

According to the results obtained with 18 different extracts from freshwater algae species collected by Sapmaz (2023), *Ulothrix zonata*, *Fontinalis antipyretica* and *Spirogyra*

gracilis, it was observed that each algae species, the method of extract production and the type of solvent used were effective on the antimicrobial properties.

Silva et al. (2024) stated that *Bifurcaria bifurcaria* has a significant antimicrobial activity. In addition, it was stated that *Bifurcaria bifurcaria* has a strong antifungal activity against some *Penicillium* species.

These findings on algae and their antimicrobial effects have shown that algae have the potential to be used as antimicrobial agents in the health, food and pharmaceutical industries. There are many algae species that have not yet been studied on this subject. Therefore, examining algae in terms of their antimicrobial effects will provide valuable contributions to science and humanity.

4. CONCLUSION

Since algae are of biological origin, they are quite advantageous for the production of antimicrobial substances. In studies conducted on algae and their antimicrobial effects, international and regional networks should be participated, national research priorities should be determined and a strong laboratory network should be established and operated. In this context, algae can be used as antimicrobial substances for new drugs produced for the treatment of infectious diseases. Regular data collection systems in all sectors where antimicrobials are used are critical in generating evidence for policy change and implementation. Research on alternative and more bio-ecological ways to improve health and agriculture and enrich food products should be supported and encouraged. However, it is important to raise awareness of global antimicrobial resistance and to promote general public health good practices to prevent the spread of drug-resistant infections.

REFERENCES

- Afzal, S., Yadav, A.K., Poonia, A.K., Choure, K., Yadav, A.N., Pandey, A. 2023. Antimicrobial Therapeutics Isolated from Algal Source: Retrospect and Prospect. *Biologia*, 78: 291-305.
- Aras, A., Sayın, S. 2020. Determination of Potential of Some Marine Macroalgae for Future Functional Products. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 3(1): 22-35.
- Christabell, J., Lipton A.P., Aishwarya, M.S., Sarika, A.R., Udayakumar, A. 2011. Antibacterial Activity of Aqueous Extract from Selected Macroalgae of Southwest Coast of India. *Seaweed Research and Utilization*, 33:67-75.
- Çakı, Z. 2009. Antimicrobial and Antioxidant Activities of Some Macro Algae from Aegean Sea. Celal Bayar University, Department of Biology, Ph.D. Thesis, pp. 119.
- Demorais, M.G., Silvavaz, B.D., Morais, E.G., Costa, V.J.A. 2015. Biologically Active Metabolites Synthesized by Microalgae. *Laboratory of Microbiology and Biochemistry, Journal of Natural Products*, 75(3): 311-335.
- Faydaoğlu, E., Sürücüoğlu, M.S. 2013. Medical and Aromatic Plants' Antimicrobial, Antioxidant Activities and Use Opportunities. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 6(2): 233-265.
- Freitas, R., Martins, A., Silva, J., Alves, C., Pinteus, S., Alves, J., Teodoro, F., Ribeiro, H.M., Gonçalves, L., Petrovski, Z., Branco, L., Pedrosa, R. 2020. Highlighting the Biological Potential of the Brown Seaweed *Fucus Spiralis* for Skin Applications. *Antioxidants*, 9(611): 1-21.

- Kolanjinathan, K., Ganesh, P., Govindeajan, M. 2009. Antibacterial Activity of Ethanol Extracts of Seaweed Against Fish Bacterial Pathogens. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 13: 173-177.
- Lauritano, C., Martín, J., Cruz, M., Reyes, F., Romano, G., Ianora, A. 2018. First Identification of Marine Diatoms with Anti-tuberculosis Activity. *Scientific Reports*, 8(2284): 1-10.
- Özcan, F. 2013. Determination of Antimicrobial, Antibiofilm, Antioxidant, Antimutagenic and Cytotoxic of some Liliceae Species. Muğla Sıtkı Koçman University, Institute of Science and Technology, Department of Biology, MSc. Thesis, pp. 118.
- Öztürk, F., Hamzaçebi, S. 2019. Antibacterial Activity of *Ulva lactuca* Extracts Prepared with Different Solvents. *Acta Aquatica Turcica*, 15(3), 272-279.
- Peksezer, B. 2022. Effects of Macroalg Extraction with Different Solvents on Antimicrobial Activity and Pathogenic Microorganisms. Mersin University, Institute of Science, Department of Aquaculture, PhD. Thesis, pp. 78.
- Pelegrin, Y.F., Monales, J.L. 2004. Antimicrobial Activity in Marine Algae from the Coast of Yucatan, Mexico. *Botanica Marina*, 47: 140-146.
- Perez, M.J., Falque, E., Dominguez, H., 2016. Antimicrobial Action of Compounds from Marine Seaweed. *Marine Drugs*, 14(52): 1-38.
- Salan, A.S. 2024. Investigation of the Antimicrobial Effects of Long-term used Drugs and the Interaction with Antimicrobial Agents. Trakya University, Institute of Health Sciences, Department of Medical Microbiology, MSc. Thesis, pp. 93.
- Salvador, N., Garneta, A.G., Lavelli, L., Ribera, M.A. 2007. Antimicrobial Activity of Iberian Macroalgae. *Scientia Marina*, 71(1): 101-113.
- Silva, A., Carpena, M., Morais, S.L., Grosso, C., Cassani, L., Chamorro, F., Barroso, M.F., Gandara, S.J., Prieto, M.A. 2024. A Study on the Antimicrobial Activity of Algae Extract: The Fucales Order Case. *Biology and Life Sciences Forum*, 31(26): 1-6.
- Sapmaz, M. 2023. Determination of Antimicrobial Properties of Some Freshwater Algae. Fırat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biotechnology, MSc. Thesis, pp. 50.
- Taşkın, E., Öztürk, M., Taşkın, E., Kurt, O. 2007. Antibacterial Activities of some Marine Algae from the Aegean Sea (Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 6(24): 2746-2751.
- Taşkın, E., Çakı, Z., Öztürk, M., Taskın, E., Kurt, O. 2010. Antimicrobial and Antitumoral Activities of Marine Algae, *International Review of Hydrobiology*, 3(1): 37-50.
- Tüney, İ., Çadircı, B.H., Ünal, D., Sukatar, A. 2006. Antimicrobial Activities of The Extracts of Marine Algae from the Coast of Urla (İzmir, Turkey). *Turkish Journal of Biology*, 30: 171-175.
- URL-1, 2024. <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/haberler/duenya-antimikrobiyal-direnc-farkindalik-haftasi.html>, Republic of Turkey Ministry of Health, General Directorate of Public Health, Accessed: November 26, 2024.
- Vahdati, S.N., Behboudi, H., Tavakoli, S., Aminian, F., Ranjbar, R. 2022. Antimicrobial Potential of the Green Microalgae Isolated from the Persian Gulf. *Iran Journal of Public Health*, 51(5): 1134-1142.



Vehapi, M. 2016. Investigation of Antimicrobial and Antioxidant Activities of Macro and Microalgae. Yıldız Technical University, Institute of Science, Department of Bioengineering, MSc. Thesis, pp. 110.

***IN SILICO* MODELING BIOLOGICAL EVALUATION OF SERIES SULFONATE DERIVATIVES AS POTENTIAL ANTI-ACETYLCHOLINESTERASE AND ANTI-BUTYRYLCHOLINESTERASE AGENTS**

¹Fuat Yetişsin, ²Adem Korkmaz,

¹Muş Alparslan University, Technical Sciences Vocational School, 49250 Muş, Turkey

²Faculty of Health Sciences, Muş Alparslan University, 49250 Muş, Turkey

¹orcid:0000-0001-6085-7610

²orcid:0000-0002-0345-5794

Abstract: The potential enzyme inhibition activities of the benzothiazole sulfonate hybrid derivatives containing azomethine group against acetylcholinesterase, and butyrylcholinesterase were screened with *in silico* method. The interaction affinity values of compound **1** (-11.9 kcal/mol), compound **2** (-11.7 kcal/mol), compound **4** (-11.6 kcal/mol) and compound **8** (-11.6 kcal/mol) with acetylcholinesterase were exhibited greater than or equal to donepezil (-11.6 kcal/mol), one of the inhibitors of acetylcholinesterase. The binding affinities of compound **1** were found best potential inhibitor for acetylcholinesterase (-11.9 kcal/mol) compared other compounds. The affinity values of compounds (**1-9**) with butyrylcholinesterase were found to be -6.3, -7.7, -7.2, -7.1, -4.8, -7.3, -5.2, -6.0 and -5.9 kcal/mol, respectively. The affinity values of compounds ((**1-9**)) were found to be lower than tacrine (-8.1 kcal/mol). The best affinity value with butyrylcholinesterase was observed to be compound **2** (-7.7 kcal/mol).

Keywords: Benzothiazole, enzyme inhibition, sulfonate derivatives, acetylcholinesterase, molecular docking.

INTRODUCTION

Alzheimer's disease (AD), characterized by degeneration of the nervous system primarily in individuals over the age of 65, occurs due to neuronal cell death that begins in the entorhinal cortex of the hippocampus. In early-onset AD, which affects approximately 5% of all Alzheimer's patients, individuals under the age of 65 can be affected [1-3]. The condition of patients with AD is further exacerbated by altered activities of acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BuChE), enzymes that regulate acetylcholine levels. In particular, increased activity of the AChE enzyme responsible for the breakdown of acetylcholine

contributes to cognitive impairment in the cortex and hippocampus. BuChE may prevent the loss of cholinergic neurons in areas affected by amyloid pathology [4,5]. It is very important to reveal a deep correlation between novel synthesized compounds with diseases such as Alzheimer's diseases, which are the biggest threat to human health today and in the future. Inhibition studies of enzymes in the treatment of these diseases and other diseases also gain importance [6,7]. It is among the aims of medicinal chemistry to produce new ligands for acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) inhibitors to combat the loss of neurotransmitters in the treatment of Alzheimer's disease [6-10].

Benzothiazole is frequently used in the pharmaceutical field. In addition, studies on enzyme inhibition of compounds containing benzothiazole derivatives have been carried out by many researchers in the literature [11-14]. Also, biological properties of the sulfonate derivatives were interesting to many researchers [15-18]. Furthermore, studies on the biological activities of newly synthesized compounds have been reported by many researchers [22-30]. In our study, benzothiazole-sulfonate hybrid structures containing azomethine group were synthesized and their effects on acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase were investigated by *in silico* method.

RESULTS AND DISCUSSION

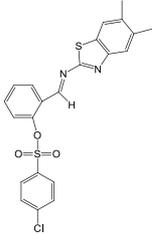
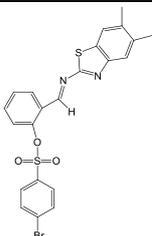
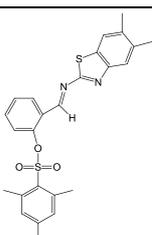
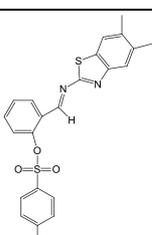
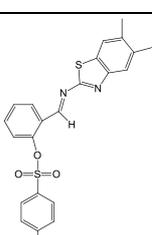
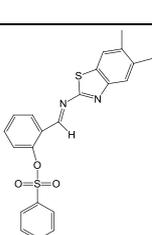
Preparation

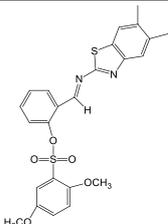
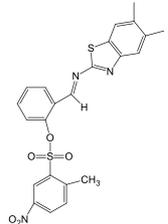
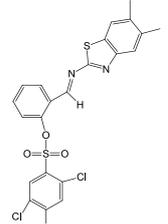
Benzothiazole-sulfonate hybrid derivatives containing azomethine motif were prepared using procedures our previous work [19].

Molecular docking studies

Thanks to molecular docking applications being frequently preferred in terms of revealing interactions between proteins and ligands, molecular docking studies are of great interest to researchers [20-22]. Root Mean Square Deviation (RMSD) of standards with acetylcholinesterase (donepezil) and butyrylcholinesterase (tacrine) values were calculated in our previous study and used for validation this study [23]. The interaction affinity values of all compounds with acetylcholine esterase (PDB ID: 4EY7) and butyrylcholinesterase (4BDS) were exhibited in **Table 1**.

Table 1. The interactions affinity values of all compounds with enzymes

Compounds Code	Compound's Structure	Acetylcholinesterase (kcal/mol)	Butyrylcholinesterase (kcal/mol)
1		-11.9	-6.3
2		-11.7	-7.7
3		-11.4	-7.2
4		-11.6	-7.1
5		-9.5	-4.8
6		-11.1	-7.3

7		-9.3	-5.2
8		-11.6	-6.0
9		-11.5	-5.9
Standards		-11.6 (Donepezil)	-8.1 (tacrine)

Molecular docking analysis of acetylcholinesterase

To evaluate the inhibitory effect of all compounds on the acetylcholinesterase (PDB ID:4EY7), the molecular structure of the enzyme was obtained from Protein Data Bank. The binding affinities order of all compounds with acetylcholinesterase was determined as **1>2>4=8=Donepezil>9>3=6>5>7**. The interaction affinity value of compound **1** (-11.9 kcal/mol) with acetylcholinesterase was exhibited greater than donepezil (-11.6 kcal/mol) as one of the effective inhibitors of acetylcholinesterase [23]. Also, the affinity energy of compound **2** (-11.7 kcal/mol) was higher than donepezil. The affinity energies of compounds **4** (-11.6 kcal/mol) and **8** (-11.6 kcal/mol) were found equal to donepezil's affinity energy (Table 2). It was observed that the molecular docking score (-11.9 kcal/mol) of compound **1** with acetylcholine esterase gave better results than synthesized compounds in the literature [24]. The hydrogen bond and 2D structure poses of compounds **1**, **2**, **4**, **8**, and donepezil with acetylcholinesterase were shown in **Figure 1**.

Figure 1. Hydrogen bond interaction and 2D-structure poses of (**1**, **2**, **4**, and **8**) and donepezil (standard) with acetylcholinesterase.

The amino acid type, bond structure, and bond distances of donepezil and compounds (**1**, **2**, **4**, and **8**) were compared in their interactions with acetylcholine esterase. Compounds **1** and **4** were found to be similar interactions with eight amino acids comparing donepezil. Compound **1** was observed higher affinity energy than other compounds. The interactions of acetylcholine esterase with compound **1** with eight, compound **2** with seven, compound **4** with eight, and compound **8** with six amino acids were found similar to donepezil [23]. Two conventional hydrogen bond interactions with both compound **1** and donepezil with acetylcholine esterase were determined similar. The conventional hydrogen (Phe 286), pi-pi-stacked (Trp 277 and Tyr 332), and pi-alkyl (Tyr 69 and Trp 277) of compound 5a with acetylcholine esterase were found to be the same interactions comparing standard (donepezil). The interaction distances of compound 5a with amino acids of acetylcholine esterase were recorded as Phe 286 (2.76091 Å), Trp 277 (3.9272 Å), Tyr 332 (4.51529 Å), Tyr 69 (4.58653 Å), and Trp 277 (2.32754 Å). The interaction distances of donepezil with amino acids of acetylcholine esterase were noted as Phe 286 (1.86817), Trp 277 (3.97075), Tyr 332 (5.13264Å), Tyr 69 (4.82065), and Trp 277 (3.60275). It was observed that hydrogen bonding was formed between the carboxyl group in the amino acid of phenylalanine in the 286th line of acetylcholine esterase with the oxygen in the sulfonate structure of compound **1**. It was noted that the standard donepezil and compound 5a exhibited similar interaction as the 286th amino acid. In addition, it was determined that the interaction of the indole ring of the 277th amino acid of the enzyme with the benzene ring in compound **1** was similar to the interaction of donepezil as pi-pi-stacked interaction. On the other hand, it was determined that the phenol ring in the structure of the tyrosine amino acid in the 332nd line and the benzene rings in compound **1** were similar to donepezil as the pi-pi-stacked interaction. Compound **1** can compete as a more potent inhibitor for acetylcholine esterase compared to donepezil according to banding affinity and banding distance.

Table 2. Molecular docking data of acetylcholinesterase

Entry	Binding Affinity (kcal/mol)	Type of Interaction	Residue Information	Distance
1	-11.9	Conventional Hydrogen Bond	Tyr 121	2,02145
		Conventional Hydrogen Bond	Phe 286	2,76091
		Pi-Sulfur	Phe 288	5,53536
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	4,7607
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	4,67105
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	4,709
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	5,15954
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	3,9272

		Pi-Pi Stacked	Tyr 328	4,16983
		Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,7725
		Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,51529
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	5,66699
		Pi-Pi T-shaped	Tyr 121	5,82291
		Alkyl	Leu 127	5,15595
		Pi-Alkyl	Tyr 69	4,64022
		Pi-Alkyl	Trp 83	4,42568
		Pi-Alkyl	Tyr 130	5,22458
		Pi-Alkyl	Trp 277	3,90223
		Pi-Alkyl	Trp 277	4,12552
		Conventional Hydrogen Bond	Tyr 121	2,10258
		Carbon Hydrogen Bond	Asp 71	1,96374
		Pi-Sulfur	Phe 288	5,72
		Pi-Sulfur	Tyr 332	4,35247
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	5,20017
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	3,98155
		Pi-Pi Stacked	Tyr 328	4,11986
		Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,97936
		Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,45879
2	-11.7	Pi-Pi T-shaped	Phe 329	4,93369
		Pi-Pi T-shaped	Tyr 121	5,58214
		Amide-Pi Stacked	Gly 117; Gly 118	4,21045
		Alkyl	Leu 127	4,86848
		Pi-Alkyl	Tyr 69	4,58653
		Pi-Alkyl	Trp 83	5,36921
		Pi-Alkyl	Trp 83	4,45288
		Pi-Alkyl	Tyr 130	4,87987
		Pi-Alkyl	Trp 277	3,81375
		Pi-Alkyl	Trp 277	4,11559
		Conventional Hydrogen Bond	Tyr 121	2,10828
		Carbon Hydrogen Bond	Asp 71	1,97778
		Pi-Sulfur	Phe 288	5,85723
		Pi-Sulfur	Tyr 332	4,20889
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	4,84739
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	4,7784
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	5,01855
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	3,90378
		Pi-Pi Stacked	Tyr 328	4,14922
4	-11.6	Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,80797
		Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,55495
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	5,70655
		Pi-Pi T-shaped	Phe 329	4,84198
		Pi-Pi T-shaped	Tyr 121	5,69337
		Alkyl	Leu 127	4,84338
		Pi-Alkyl	Tyr 69	4,51557
		Pi-Alkyl	Trp 83	4,52049
		Pi-Alkyl	Tyr 130	4,89378
		Pi-Alkyl	Trp 277	3,75083
		Pi-Alkyl	Trp 277	4,02505
		Carbon Hydrogen Bond	His 438	2,94808
		Carbon Hydrogen Bond	Asp 71	2,69886
		Pi-Sigma	Trp 83	2,61413
		Pi-Sulfur	Tyr 332	3,885
		Pi-Sulfur	His 438	5,66931
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	4,86649
		Pi-Pi Stacked	Trp 83	5,0261
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	5,13618
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	4,02157
		Pi-Pi Stacked	Tyr 328	3,69689
8	-11.6	Pi-Pi Stacked	Tyr 332	4,43338
		Pi-Pi Stacked	Trp 277	5,39203
		Pi-Pi Stacked	Tyr 332	3,83863
		Pi-Pi T-shaped	Tyr 121	5,21608
		Pi-Alkyl	Tyr 69	4,79845
		Pi-Alkyl	Trp 83	5,37503
		Pi-Alkyl	Trp 83	4,30726
		Pi-Alkyl	Trp 277	5,05319
		Pi-Alkyl	Trp 277	3,70289
		Pi-Alkyl	Trp 277	4,01991
		Pi-Alkyl	Trp 277	3,86844
		Attractive Charge	ASP A:71	5,1227
		Conventional Hydrogen Bond	PHE A:286	1,86817
		Conventional Hydrogen Bond	TYR A:121	2,32245
		Carbon Hydrogen Bond	PHE A:286	3,09344
		Carbon Hydrogen Bond	SER A:284	3,00286
		Pi-Sigma	TYR A:332	2,68425
Donepezil	-11.6	Pi-Pi Stacked	TRP A:83	3,73127
		Pi-Pi Stacked	TRP A:277	3,97075
		Pi-Pi Stacked	TYR A:332	5,13264
		Pi-Pi Stacked	HIS A:438	5,56369
		Alkyl	LEU A:280	5,31446
		Pi-Alkyl	TYR A:69	4,82065
		Pi-Alkyl	TRP A:277	3,60275

Molecular docking analysis of butyrylcholinesterase

The butyrylcholinesterase (PDB ID:4BDS) enzyme structure was obtained from the Protein Data Bank. The interactions of compounds (**1-9**) and tacrine with butyrylcholinesterase were investigated. The affinity values of compounds (**1-9**) with butyrylcholinesterase were found to be -5.7, -6.3, -7.7, -7.2, -7.1, -4.8, -7.3, -5.2, -6.0 and -5.9 kcal/mol, respectively (Table 1). The affinity value of compound **2** with butyrylcholinesterase was observed at -7.7 kcal/mol. The affinity values of compounds ((**1-9**)) were lower than tacrine (-8.1 kcal/mol) [23]. The hydrogen bond and 2D structure interaction poses of **2, 3, 4, 6**, and tacrine with butyrylcholinesterase were shown in **Figure 2**. The inhibitory activity of tacrine has better than all compounds (Table 3).

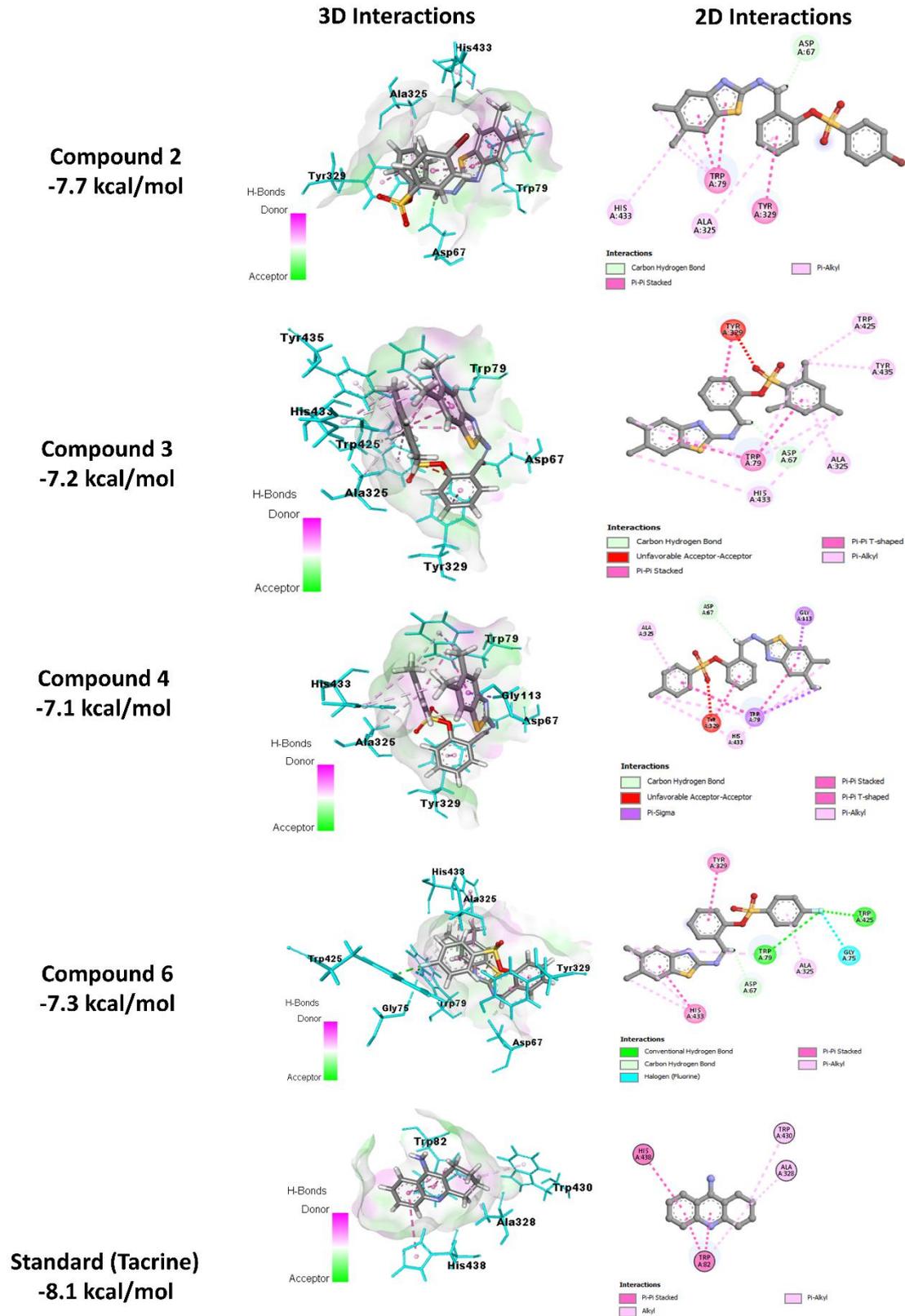


Figure 2. Hydrogen bond interaction and 2D-structure poses of **2, 3, 4, 6,** and tacrine (standard) with butyrylcholinesterase.

Table 3. Molecular docking data of butyrylcholinesterase

Entry	Binding Affinity (kcal/mol)	Type of Interaction	Residue Information	Distance
2	-7.7	Carbon Hydrogen Bond	Asp 67	1,51958
		Pi-Pi Stacked	Trp 79	3,908
		Pi-Pi Stacked	Trp 79	3,96444
		Pi-Pi Stacked	Trp 79	3,9104
		Pi-Pi Stacked	Tyr 329	3,93507
		Pi-Pi Stacked	Trp 79	4,92638
		Pi-Alkyl	Trp 79	4,06439
		Pi-Alkyl	Trp 79	4,77835
		Pi-Alkyl	His 433	4,45743
		Pi-Alkyl	Ala 325	5,43709
		3	-7.2	Carbon Hydrogen Bond
Pi-Pi Stacked	Tyr 329			4,03202
Pi-Pi T-shaped	Trp 79			4,45924
Pi-Pi T-shaped	Trp 79			5,45539
Pi-Alkyl	Trp 79			4,16763
Pi-Alkyl	Trp 79			4,4349
Pi-Alkyl	Trp 79			5,08574
Pi-Alkyl	Trp 79			3,67892
Pi-Alkyl	Trp 79			3,99755
Pi-Alkyl	Trp 425			4,53995
Pi-Alkyl	Trp 425			4,69671
Pi-Alkyl	His 433			4,65544
Pi-Alkyl	His 433			4,84641
Pi-Alkyl	Tyr 435			5,27085
Pi-Alkyl	Ala 325			4,70707
4	-7.1	Carbon Hydrogen Bond	Asp 67	2,25876
		Pi-Sigma	Gly 113	2,59392
		Pi-Sigma	Trp 79	2,83708
		Pi-Pi Stacked	Tyr 329	3,73128
		Pi-Pi T-shaped	Trp 79	5,55331
		Pi-Pi T-shaped	Trp 79	4,44861
		Pi-Alkyl	Trp 79	4,83156
		Pi-Alkyl	Trp 79	4,87378
		Pi-Alkyl	Trp 79	4,15725
		Pi-Alkyl	His 433	4,85514
		Pi-Alkyl	His 433	4,20111
		Pi-Alkyl	Ala 325	4,78523
		6	-7.3	Conventional Hydrogen Bond;Halogen (Fluorine)
Conventional Hydrogen Bond;Halogen (Fluorine)	Trp 425			2,23449
Carbon Hydrogen Bond Halogen (Fluorine)	Asp 67			1,86363
Pi-Pi Stacked	Gly 75			2,99347
Pi-Pi Stacked	Tyr 329			5,16575
Pi-Pi Stacked	His 433			5,84475
Pi-Alkyl	Trp 79			4,50653
Pi-Alkyl	Trp 79			3,6685
Pi-Alkyl	His 433			4,41132
Pi-Alkyl	His 433			4,7021
Pi-Alkyl	Ala 325			4,02758
Tacrine	-8.1	Pi-Pi stacked	TRP A:82	3,59373
		Pi-Pi stacked	HIS A 438	5,90514
		Alky	ALA A:328	4,08868
		Pi-Alkyl	TRP A:82	4,79583
		Pi-Alkyl	TRP A:430	5,29415

CONCLUSION

The present study aims to determine the inhibitory effects of nine different sulfonate derivatives (**1-9**) on AChE and BuChE enzymes, which have important functions in the treatment of AD, by in silico method. It is essential to develop more effective drugs against AD, which is estimated to affect 150 million people in our world by 2050. It is known that one of the most useful strategies in drug development is enzyme inhibition studies. According to the findings obtained from this study, it was determined that compounds **1** and **2** among sulfonate

derivatives (**1-9**) are more effective AChE inhibitors than standard donepezil in terms of their affinity values. In addition, it is understood that compounds **1** and **2** interact with more amino acids and stronger bonds compared to donepezil. As a result, it can be said that compounds **1** and **2** have the potential to be a drug in terms of their affinity values for the AChE enzyme and the characteristics of their interaction levels with the amino acids that form the enzyme.

EXPERIMENTAL

Molecular docking analysis

Molecular docking studies of benzothiazole sulfonate hybrid derivatives (**1-9**) containing azomethine group were carried out using the method previously performed by Korkmaz [23,25]. Acetylcholine esterase (PDB ID: 4EY7) and Butyrylcholinesterase (4BDS) proteins were obtained from the protein database [26-27]. AutoDock Vina, Biovia Discovery Studio Visualizer, UCSF Chimera, and Avogadro software were performed for *in silico* method [28-31]. MMFF94 Force Field for benzothiazole sulfonate hybrid derivatives (**1-9**) were used in the Avogadro program and geometric optimizations were performed with the steepest descent algorithm and 5000 steps. Interactions of benzothiazole sulfonate hybrid derivatives (**1-9**) were visualized using Biovia Discovery Studio Visualizer [28]. Binding pocket coordinates of benzothiazole sulfonate hybrid derivatives (**1-9**) for butyrylcholinesterase (center x,y,z: 132.99, 116.02, 44.21, size x,y,z: 11.46 , 11.46, 11.46) and acetylcholinesterase (center x ,y,z: -14.11, -43.84, 27.70, size x,y,z: 15.66, 15.66, 15.66) were performed by our previous work [23].

Author Contribution Statement

Fuat Yetişsin carried out the molecular docking and review.

Adem Korkmaz carried out the preparation all compounds, molecular docking and review.

CONFLICT OF INTEREST

The authors reported no potential conflict of interest.

REFERENCES

[1] Breijyeh Z., Karaman R. Comprehensive Review on Alzheimer's Disease: Causes and Treatment. *Molecules*. 2020;25:5789. doi: 10.3390/molecules25245789.

- [2] Kumar A., Sidhu J., Lui F., Tsao J.W. StatPearls. StatPearls Publishing; Treasure Island, FL, USA: 2024. Alzheimer Disease.
- [3] Long J.M., Holtzman D.M. Alzheimer disease: An update on pathobiology and treatment strategies. *Cell*. 2019;179:312–339. doi: 10.1016/j.cell.2019.09.001.
- [4] Mushtaq G., Greig N., Khan J., Kamal M. Status of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase in Alzheimer's disease and type 2 diabetes mellitus. *CNS Neurol. Disord. Drug Targets*. 2014;13:1432–1439. doi: 10.2174/1871527313666141023141545.
- [5] Nordberg A., Ballard C., Bullock R., Darreh-Shori T., Somogyi M. A review of butyrylcholinesterase as a therapeutic target in the treatment of Alzheimer's disease. *Prim. Care Companion CNS Disord*. 2013;15:26731. doi: 10.4088/PCC.12r01412.
- [6] R.R. Ramsay, K.F. Tipton, Assessment of enzyme inhibition: a review with examples from the development of monoamine oxidase and cholinesterase inhibitory drugs. *Molecules*, 22(7), (2017), 1192
- [7] Z. Bulut, N. Abul, A.H. Poslu, İ. Gülçin, A. Ece, E. Erçağ, ... & G. Koz, Structural characterization and biological evaluation of uracil-appended benzylic amines as acetylcholinesterase and carbonic anhydrase I and II inhibitors. *Journal of Molecular Structure*, 1280, (2023), 135047
- [8] M.O. Karaytuğ, N. Balcı, F. Türkan, M. Gürbüz, M.E. Demirkol, Z. Namlı, ... & İ. Gülçin, Piperazine derivatives with potent drug moiety as efficient acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase, and glutathione S-transferase inhibitors. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 37(2), (2023), e23259
- [9] M. Elkolli, N. Chafai, S. Chafaa, I. Kadi, C. Bensouici, A. Hellal, New phosphinic and phosphonic acids: Synthesis, antidiabetic, anti-Alzheimer, antioxidant activity, DFT study and SARS-CoV-2 inhibition. *Journal of Molecular Structure*, 1268, (2022), 133701
- [10] S. Zaout, S. Chafaa, A. Hellal, O. Boukhemis, L. Khattabi, H. Merazig, ... & L. Bendjeddou, Hydroxyphenylamine phosphonate derivatives: Synthesis, X-ray crystallographic analysis, and evaluation of their anti-Alzheimer effects and antioxidant activities. *Journal of Molecular Structure*, 1225, (2021), 129121
- [11] Ş. Karaca, D. Osmaniye, B.N. Sağlık, S. Levent, S. Ilgın, Y. Özkay, ... N. Gundogdu-Karaburun, Synthesis of novel benzothiazole derivatives and investigation of their enzyme inhibitory effects against Alzheimer's disease. *RSC advances*, 12(36), (2022), 23626-23636
- [12] A. Korkmaz, E. Bursal, Benzothiazole sulfonate derivatives bearing azomethine: Synthesis, characterization, enzyme inhibition, and molecular docking study. *Journal of Molecular Structure*, 1257, (2022), 132641
- [13] R. Ujan, A. Saeed, S. Ashraf, P.A. Channar, Q. Abbas, M.A. Rind, ... H.R. El-Seedi, Synthesis, computational studies and enzyme inhibitory kinetics of benzothiazole-linked thioureas as mushroom tyrosinase inhibitors. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 39(18), (2021), 7035-7043
- [14] M. Duhan, P. Kumar, J. Sindhu, R. Singh, M. Devi, A. Kumar, ... S. Lal, Exploring biological efficacy of novel benzothiazole linked 2, 5-disubstituted-1, 3, 4-oxadiazole hybrids as efficient α -amylase inhibitors: Synthesis, characterization, inhibition, molecular docking, molecular dynamics and Monte Carlo based QSAR studies. *Computers in Biology and Medicine*, 138, (2021), 104876
- [15] F. Yetişsin, İ. Kardeş, Could acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl) oxime be a copper chelating and antioxidative molecule on maize seedlings?. *Int. J. Phytoremediation*. 24(7) (2022), 721-729
- [16] F. Yetişsin, İ. Sevimli, Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl) Oxime as an Agent Alleviating the Adverse Effects of Drought Stress in Maize. *JIST*.12(4) (2022), 2014-2026

- [17] E. Başaran, R. Çakmak, S. Akkoç, S. Kaya, Combined experimental and theoretical analyses on design, synthesis, characterization, and in vitro cytotoxic activity evaluation of some novel imino derivatives containing pyrazolone ring, *J. Mol. Struct.* 1265 (2022), 133427
- [18] R. Kaur, R. Kumar, N. Dogra, A.K. Yadav, Design, synthesis, biological evaluations and *in silico* studies of sulfonate ester derivatives of 2-(2-benzylidenehydrazono) thiazolidin-4-one as potential α -glucosidase inhibitors, *J. Mol. Struct.* 1247 (2022), 131266
- [19] Yetişsin, F., Korkmaz, A., & Kaya, E. (2023). In silico and in vitro biological evaluation of novel serial sulfonate derivatives on pancreatic lipase activity. *Chemistry & Biodiversity*, 20(11), e202301210.
- [20] M. Elmusa, S. Elmusa, S. Mert, R. Kasımoğulları, F. Türkan, M.N. Atalar, E. Bursal, One-pot three-component synthesis of novel pyrazolo-acridine derivatives and assessment of their acetylcholinesterase inhibitory properties: An in vitro and *in silico* study. *J. Mol. Struct.* 1274(1) (2023) 134553
- [21] K.K. Sarkar, T. Mitra, M.A. Rahman, I.M. Raja, M. Aktaruzzaman, M.A. Abid, M. N.H. Zilani, D.N. Roy, In Vivo Bioactivities of *Hoya parasitica* (Wall.) and In Silico Study against Cyclooxygenase Enzymes. *Biomed Res. Int.*, 2022 (2022) 1331758
- [22] S. Malik, G.A. Miana, A. Ata, M. Kanwal, S. Maqsood, I. Malik, Z. Kazmi, Synthesis, characterization, in-silico, and pharmacological evaluation of new 2-amino-6 trifluoromethoxy benzothiazole derivatives. *Bioorg. Chem.* 130, (2022), 106175
- [23] A. Korkmaz, Design, synthesis, characterization, molecular docking studies, molecular properties, toxicity, and bioactivity score prediction evaluation of novel chalcone-sulfonate hybrid derivatives. *Journal of Molecular Structure*, 1286, (2023), 135597
- [24] P. Taslimi, F. Türkan, A. Cetin, H. Burhan, M. Karaman, I. Bildirici, ... & F. Şen, Pyrazole [3, 4-d] pyridazine derivatives: Molecular docking and explore of acetylcholinesterase and carbonic anhydrase enzymes inhibitors as anticholinergics potentials. *Bioorganic Chemistry*, 92, (2019), 103213.
- [25] A. Korkmaz, L. Rhyman, P. Ramasami, Synthesis, characterization, DFT and molecular docking studies of acetone O-((2, 5-dichlorophenyl) sulfonyl) oxime. *Physical Sciences Reviews*, (2022)
- [26] J. Cheung, M.J. Rudolph, F. Burshteyn, M.S. Cassidy, E.N. Gary, J. Love, ... J.J. Height, Structures of human acetylcholinesterase in complex with pharmacologically important ligands. *Journal of medicinal chemistry*, 55(22), (2012), 10282-10286
- [27] F. Nachon, E. Carletti, C. Ronco, M. Trovaslet, Y. Nicolet, L. Jean, P.Y. Renard, Crystal structures of human cholinesterases in complex with huprine W and tacrine: elements of specificity for anti-Alzheimer's drugs targeting acetyl- and butyryl-cholinesterase. *Biochemical Journal*, 453(3), (2013), 393-399
- [28] D.S. Biovia (2017), San Diego, CA, USA, vol. 936.
- [29] M.D. Hanwell, D.E. Curtis, D.C. Lonie, T. Vandermeersch, E. Zurek, G.R. Hutchison, Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *J. Cheminformatics.* 4 (2012), 1-17
- [30] E.F. Pettersen, T.D. Goddard, C.C. Huang, G.S. Couch, D.M. Greenblatt, E.C. Meng, T.E. Ferrin, UCSF Chimera—a visualization system for exploratory research and analysis. *J. Comput. Chem.* 25(13), (2004), 1605-1612
- [31] O. Trott, A.J. Olson, Software news and update AutoDockVina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function. efficient optimization, and multithreading, *J. Comput. Chem.* 31(2), (2010), 455-461

MEKANİK KİLİTLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK ÇELİK VE BAKIR MALZEME ÇİFTİNİN KÜRESEL KANALLI BAĞLANTI TASARIMINDA BOĞAZ MESAFESİNİN MUKAVEMET ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Dr.Öğr.Üyesi, ARSLAN KAPTAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, akaptan@cumhuriyet.edu.tr- 0000-0002-2431-9329

ÖZET

Malzeme birleştirmelerinde kaynak gibi geleneksel çözülemeyen bağlantı yöntemlerin dezavantajlarını bertaraf etme potansiyeli bulunan kaynaklı çözülemeyen bağlantı yöntemleri öne çıkmaktadır. Özellikle farklı malzeme türlerinin plastik deformasyon yoluyla birbirine birleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri de kilit mekanizmasının tasarlandığı mekanik kilitleme yöntemidir. Mekanik kilitleme yönteminde tespit edilmesi gereken kritik parametre; kalıptaki kanal yapısının bozularak veya yeniden şekillendirilen parçanın sıyrılarak değil, bu parçanın boğaz bölgesinden kopması yoluyla birleştirmenin ayrılmasını sağlamaktır. Bunun yanında küresel boşluk yapısının malzeme yüzeyine mümkün olduğu kadar yakın konumlandırılması gerekmektedir. Bu yapının konumu derinleştikçe yeniden şekillendirilen parçanın daha fazla talaşlı imalata ihtiyaç duymasına neden olacaktır. Bu çalışmanın amacı; kalıp parçasının döküm yolu ile elde edilerek deneysel çalışmalar yapılmasından önce sonlu elemanlar analizi kullanılarak küresel bölgenin derinlik değişiminin birleştirme mukavemetine etkisini araştırmaktır. Çalışmada çelik ve bakır malzemelerin birleştirilmesi esas alınmıştır. Küresel yapının çapı ve birleştirme boğaz çapı sabit olmak üzere küresel kanal merkezinin malzeme yüzeyine uzaklıklarının değiştirilmesi ile kilitlenme başarısı mukavemet performansı açısından Ansys programı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar küresel kanalın malzeme yüzeyinden uzaklaştıkça mukavemet performansının arttığı görülmüştür. Ayrıca küresel yapının derinliğinin artması, yeniden şekillendirilen bölgenin kalıp parçası üzerinden sıyrılarak birleştirmenin mukavemet zayıflamasının önüne geçmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaynaklı birleştirme, sonlu elemanlar yöntemi, çelik, bakır, Ansys, mukavemet performansı.

DYNAMIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON, BASALT AND GLASS FIBER REINFORCED LAMINATED COMPOSITES: A COMPARATIVE ANALYSIS

Asst. Prof. Muhammet Raci AYDIN

Iğdır University, mraci.aydin@igdir.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4120-1816>

ABSTRACT

This study comparatively analysed the dynamic and mechanical properties of layered composite samples manufactured using carbon, basalt and glass fibers. Six-layered, symmetrical composite plates measuring 300 mm x 400 mm were manufactured using the VARTM (Vacuum-Assisted Resin Transfer Moulding) method. Vibration and bending tests were performed in accordance with the relevant ASTM standards. Vibration characteristics were measured using a computer-based system (PULSE[®], Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement). Three-point bending tests were performed using a universal testing machine (Shimadzu[®]). The results obtained were analysed in detail and compared. In terms of natural frequency values, the order from highest to lowest is carbon, basalt and glass. However, in terms of damping properties, the opposite trend to that observed for natural frequencies. A similar order of carbon, basalt and glass was obtained for maximum flexural strength and flexural modulus values, similar to the natural frequencies. In the future works, it is planned to manufacture hybrid configurations with these fiber types to obtain more advantageous structures according to specific applications and loads.

Keywords: Laminated composite, natural frequency, damping ratio, flexural strength, flexural modulus.

BİR ÜNİVERSİTE HASTANESİNDE İDRAR KÜLTÜRLERİNDEN İZOLE EDİLEN *ESCHERİCHIA* SUŞLARININ FOSFOMİSİN DUYARLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ: İKİ YILLIK İZLEM

Dr. Öğr. Üyesi, İPEK KOÇER

SANKO Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji AD. ipekkocer1@gmail.com - 0000-0002-0631-6415

ÖZET

Üriner sistem enfeksiyonları (ÜSE), hem toplum hem de hastane kaynaklı olarak sık görülen enfeksiyonlardır. *Escherichia coli* (*E.coli*), bu enfeksiyonların en sık izole edilen etkenidir. Antibiyotik direncinin artışı, özellikle ayaktan ve yoğun bakım hastalarında tedavi seçeneklerini sınırlamakta ve klinik yönetimi zorlaştırmaktadır. Fosfomisin, komplike olmayan ÜSE tedavisinde etkili ve güvenli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, iki yıllık bir süreçte idrar kültürlerinden izole edilen *E. coli* suşlarında genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz (GSBL) üretiminin fosfomisin duyarlılığı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi ve dirençli suşların yıllara göre değişimini incelemeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada 2023–2024 yılları arasında iki yıllık sürede çeşitli kliniklerden laboratuvara ulaşan toplam 396 idrar kültüründen izole edilen *E. coli* suşu çalışmaya dahil edilmiştir. Laboratuvara uygun koşullarda nakilleri sağlanan idrar örnekleri, standart kalibreli öze (0.01 µl) ile %5 koyun kanlı agar ve MacConkey agara ekilmiştir. İzolatların tanımlaması BD Phoenix otomatik sistem (Becton Dickinson, ABD) kullanılarak yapılmıştır. Fosfomisin duyarlılığı, disk difüzyon yöntemi ile GSBL pozitif ve negatifliği ise kombine disk difüzyon yöntemi kullanılarak EUCAST kriterlerine göre belirlenmiştir. İzolatların klinik kaynakları kaydedilmiş ve ayaktan hasta, yoğun bakım ve diğer servislerden gelen örnekler olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca dirençli izolatların yıllara göre dağılımı analiz edilmiştir.

Çalışmaya dâhil edilen 396 izolatin 367'si (%92,7) fosfomisine duyarlı, 29'u (%7,3) dirençli bulunmuştur. GSBL pozitif suşlarda fosfomisin duyarlılık oranı %92 (n=276/300), GSBL negatif suşlarda ise %95 (n=91/96) olarak saptanmıştır. Dirençli izolatların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 2023 yılına ait 10 izolat, 2024 yılına ait ise 19 izolat saptanmış olup, 2024 yılında direnç oranında belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Klinik dağılıma bakıldığında, dirençli izolatların 10'u ayaktan hastalardan, 5'i yoğun bakım hastalarından ve 14'ü diğer

servislerden izole edilmiştir. Hastaların önceki fosfomisin kullanımına bakıldığında 20'si (%69) en az bir kez fosfomisin kullanımı mevcuttu. Fosfomisine duyarlı izolatların çoğunlukta olmasına rağmen, ayaktan hasta kaynaklı dirençli izolatların varlığı, özellikle ayaktan hasta tedavisinde fosfomisin reçetesi sırasında dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışma, hastanemizde idrar kültürlerinden izole edilen *E. coli* suşlarının fosfomisin duyarlılık profiline güncel bir bakış sunmaktadır. Fosfomisin, genel olarak yüksek duyarlılık oranlarına sahip olmakla birlikte, 2024 yılında gözlenen direnç artışı, antibiyotik kullanım politikalarının ve enfeksiyon kontrol önlemlerinin gözden geçirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, fosfomisinin hem GSBL pozitif hem de negatif *E. coli* izolatlarına karşı etkinliğini koruması, ilacın toplum kaynaklı idrar yolu enfeksiyonlarının tedavisinde önemli bir seçenek olmaya devam ettiğini göstermektedir. Özellikle ayaktan hasta kaynaklı dirençli izolatlar, klinik karar sürecinde dikkatle değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler : fosfomisin; antibiyotik duyarlılık; *Escherichia coli*

EVALUATION OF FOSFOMYCIN SUSCEPTIBILITY OF *ESCHERICHIA COLI* STRAINS ISOLATED FROM URINE CULTURES IN A UNIVERSITY HOSPITAL: A TWO-YEAR FOLLOW-UP

Asst. Prof., İpek KOÇER

SANKO University Faculty of Medicine, Medical Microbiology ipekkocer1@gmail.com -
0000-0002-0631-6415

ABSTRACT

Urinary tract infections (UTIs) are common infections seen in both community and hospital-acquired settings. *Escherichia coli* (*E. coli*) is the most frequently isolated pathogen in these infections. The increasing antibiotic resistance, particularly among outpatients and intensive care unit (ICU) patients, limits treatment options and complicates clinical management. Fosfomycin stands out as an effective and safe option for the treatment of uncomplicated UTIs. This study aims to evaluate the effect of extended-spectrum beta-lactamase (ESBL) production on fosfomycin susceptibility in *E. coli* strains isolated from urine cultures over a two-year period and to examine the temporal changes in resistant strains.

A total of 396 *E. coli* isolates obtained from urine cultures submitted to the laboratory from various clinical departments between 2023 and 2024 were included in the study. Urine samples transported under appropriate conditions were inoculated using a standard calibrated loop (0.01 μ L) onto 5% sheep blood agar and MacConkey agar. Identification of isolates was performed using the BD Phoenix automated system (Becton Dickinson, USA). Fosfomycin susceptibility was determined by the disk diffusion method, and ESBL positivity or negativity was identified by the combined disk diffusion method according to EUCAST criteria. The clinical sources of isolates were recorded and categorized as outpatient, ICU, or other inpatient wards. Additionally, the annual distribution of resistant isolates was analyzed.

Among the 396 isolates included in the study, 367 (92.7%) were susceptible to fosfomycin, while 29 (7.3%) were resistant. Fosfomycin susceptibility was found to be 92% (n=276/300) among ESBL-positive strains and 95% (n=91/96) among ESBL-negative strains. When the yearly distribution of resistant isolates was examined, 10 resistant isolates were detected in 2023 and 19 in 2024, indicating a noticeable increase in resistance during 2024. In terms of clinical distribution, 10 resistant isolates were from outpatients, 5 from ICU patients, and 14 from other hospital wards. Evaluation of prior fosfomycin use revealed that 20 patients (69%) had a history of at least one fosfomycin treatment. Although most isolates remained susceptible to fosfomycin, the presence of resistant strains among outpatients highlights the need for cautious prescribing of fosfomycin in outpatient settings.

This study provides an updated overview of the fosfomycin susceptibility profile of *E. coli* isolates obtained from urine cultures in our hospital. Despite generally high susceptibility rates, the increase in resistance observed in 2024 underscores the necessity of reviewing antibiotic stewardship policies and infection control measures. Nevertheless, fosfomycin's sustained activity against both ESBL-positive and ESBL-negative *E. coli* strains indicates that it remains an important therapeutic option for community-acquired urinary tract infections. In particular, resistant isolates from outpatients should be carefully considered in clinical decision-making.

Keywords: fosfomycin; antibiotic susceptibility; *Escherichia coli*

KURBAN BAYRAMI SÜRESİNCE ACIL SERVİSE YAPILAN BAŞVURULARIN KLİNİK ÖZELLİKLERİ VE DAĞILIMI

Dr.Öğr.Üyesi Ramazan KIYAK

Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi Acil Tıp ABD, kiyak1903@hotmail.com

ORCID ID: 0000-0002-8866-8595

Dr.Öğr.Üyesi Meliha FINDIK

Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi Acil Tıp ABD, meliha.findik@balikesir.edu.tr

Orcid ID: 0000-0002-7570-4200

Doç.Dr.Bahadır ÇAĞLAR

Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi Acil Tıp ABD, bahadircaglar@yahoo.com

Orcid ID: 0000-0002-4164-393x

Doç.Dr.Süha SERİN

Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi Acil Tıp ABD, suhaserin@gmail.com

Orcid ID: 0000-0003-0654-8061

ÖZET

Amaç:

Kurban Bayramı dönemlerinde sağlık sisteminin neredeyse yalnızca acil servisler aracılığıyla yürütülmesi, bu birimlerin yükünü önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle kurban kesimi sırasında oluşan travmalar, bayramlaşma ziyaretlerinde artan trafik kazaları ve diyet düzeninin bozulmasına bağlı gelişen metabolik bozukluklar acil servis başvurularını çeşitlendirmektedir. Bu çalışmanın amacı, Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Acil Servisi'ne Kurban Bayramı süresince başvuran hastaların demografik ve klinik özelliklerini retrospektif olarak inceleyerek bu dönemin acil servis iş yüküne etkisini değerlendirmektir.

Yöntem:

Bu retrospektif tanımlayıcı çalışmada, 2020–2023 yılları arasında Kurban Bayramı'nın dört günü (1.–4. günler) süresince acil servise başvuran 18 yaş ve üzeri 1590 hastanın verileri incelenmiştir. Değişkenler arasında yaş, cinsiyet, başvuru günü, geliş, tanı, adli vaka olup olmadığı, yatış durumu ve yatırıldığı servis yer almıştır. Veriler SPSS 26.0 yazılımı ile analiz edilmiş, frekans dağılımları, yüzdeler ve ortalamalar hesaplanmıştır.

Bulgular:

Çalışmaya dahil edilen 1590 hastanın %52'si erkek, %48'i kadındı. Ortalama yaş 46,6±18,0 yıl olup yaş aralığı 18–92 yıl arasında değişmektedir. Başvuruların en yoğun olduğu yıl 2020, gün ise bayramın 3. günü olarak tespit edilmiştir. En sık başvuru nedenleri sırasıyla: genel muayene (%16,7), yumuşak doku bozuklukları (%4,9), solunum sistemi hastalıkları (%4,4), düşme (%3,0), kesici aletle yaralanmalar (%2,2), trafik kazaları (%2,1) ve gastrointestinal acilleri şikayetleri olmuştur. Başvuruların %87,2'si "acil vaka", %3,4'ü adli vaka, %2,5'i trafik kazası, %0,3'ü iş kazası olarak kaydedilmiştir. 112 ambulans kullanımı sadece %0,9 düzeyindedir.

Hastaların %2,8'i hastaneye yatırılmış; en sık yatırılan bölümler gastroenteroloji, kadın doğum ve genel cerrahi olmuştur.

Sonuç:

Kurban Bayramı süresince acil servis başvurularında belirgin bir artış yaşanmakta ve bu başvurular çoğunlukla travmatik, enfeksiyöz ve sistemik nedenlerle ilişkilidir. Özellikle bayramın ilk ve üçüncü günlerinde başvuruların yoğunlaştığı görülmektedir. Bu veriler, bayram dönemlerinde acil servislerde personel planlamasının artırılması, ilgili branşlarda konsültasyonların güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca halkın bilinçlendirilmesine yönelik önlemler alınarak kesici alet yaralanmaları ve trafik kazaları gibi önlenemez nedenlerle başvuru oranları azaltılabilir. Sonuç olarak, bu tür özel dönemlerde sağlık hizmeti sunumunun kesintisiz, organize ve çok disiplinli bir yapıya kavuşturulması önerilmektedir.

Anahtar Kelime: Kurban Bayramı, Acil servis başvuruları, Travmatik yaralanmalar, Retrospektif analiz, Sağlık hizmetleri planlaması

THEORETICAL AND NUMERICAL RESULTS FOR A MULTI SPECIES CHEMOTAXIS MODEL

Dr. Öğr. Üyesi HALİL İBRAHİM KURT

Karadeniz Teknik Üniversitesi, hkurt@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9549-6445

ÖZET

Chemotaxis describes the movement of living organisms or cells in response to chemical signals in their environment. This biological process was first mathematically modeled by Keller and Segel in the early 1970s using systems of partial differential equations (PDEs). Since then, researchers have extensively studied the dynamic behavior of these chemotaxis models and their variants. A major challenge in this field is the occurrence of blow-up phenomena. As widely documented, Keller–Segel type systems with singular sensitivities tend to blow up near zero, unlike models with linear sensitivity. However, even models featuring linear sensitivity can experience blow-up because the chemotaxis term may become unbounded. This feedback loop can cause blow-up through two distinct mechanisms. To overcome this, various strategies have been developed to prevent blow-up and guarantee the existence of classical solutions.

In this work, we investigate a chemotaxis model that incorporates both regular and singular sensitivity, along with Lotka–Volterra-type kinetics, under no-flux boundary conditions in a bounded domain with smooth boundary. The model also includes competition between cell populations within the parabolic and elliptic framework. Our primary goal is to explore the dynamics of this system. Throughout the study, we will work both analytical and numerical results concerning various aspects of the solution behavior, including blow-up phenomena, global existence, global boundedness, persistence, coexistence, extinction, and stability.

In the final part of this work, we compare the theoretical results with the outcomes of our numerical simulations. Encouragingly, the numerical results are largely consistent with our theoretical predictions. However, these numerical findings offer valuable new perspectives, highlighting behaviors and transitions in the system that remain analytically intractable. For example, the occurrence of blow-up appears to be highly sensitive to the specific choice of parameters, suggesting the existence of subtle threshold mechanisms that govern the system's behavior. In some cases, solutions remain bounded and stable, while in others, blow-up occurs rapidly, even under seemingly small changes in the parameter configuration. The interplay between these two approaches not only strengthens our understanding of known phenomena but also opens new questions and directions for future research.

Anahtar Kelimeler : Chemotaxis, blow up, existence, boundedness, large-time behavior, coexistence, extinction, stability.



APPROXIMATION RESULTS OF GENERALIZED BERNSTEIN CHLODOWSKY OPERATORS

Doç. Dr. DİDEM AYDIN ARI

Kirikkale University, didemaydn@hotmail.com – ORCID: 0000-0002-5527-8232

Doç. Dr. BAŞAR YILMAZ

Kirikkale University, basaryilmaz77@yahoo.com – ORCID: 0000-0003-3937-992X

ABSTRACT

Approximation theory is one of the well studied areas of mathematical analysis,.There are many valuable contributions in the literature. In particular, linear positive operators and their generalizations have been studied intensively. The present work focuses on generalized Bernstein Chlodowsky operators, and we establish some of their approximation properties in weighted spaces.

Keywords: Bernstein-Chlodowsky operator, convergence, weighted approximation



ON INTEGRAL EXTENSION OF OPERATORS WHICH PRESERVE CERTAIN FUNCTIONS

Doç. Dr. Didem AYDIN ARI

Kirikkale University, didemaydn@hotmail.com – ORCID: 0000-0002-5527-8232

ABSTRACT

The theory of approximation is a field that has seen intensive research in recent years and continues to be actively studied. It is widely applied in various practical fields, including mathematics, engineering, statistics, economics. Linear positive operators play an important role in this field. In this work, we consider the Kantorovich generalization of an operator that preserve certain functions. We obtain the moments and central moments of the operator. We also give several convergence theorems through the use of weighted and classical modulus of continuity.

Keywords : Linear positive operator, weighted modulus of continuity, quantitative results.

SAMSUN İLİ SÜS BİTKİLERİ YETİŞTİRİLEN ALANLARDAKİ KÖK-UR NEMATODU TÜRLERİ (*Meloidogyne spp.*)'NİN BELİRLENMESİ

Ziraat Yüksek Mühendisi EMRE YILMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, emreylmz024@gmail.com - 0000-0002-5156-7272

Prof. Dr. SEVİLHAN MENNAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, smennanmu.edu.tr – 0000 0002 4346 8100ORCID ID

ÖZET

Kök-ur nematodları (*Meloidogyne spp.*), tarımsal ürünlerde endoparazit olarak beslenerek ve çok çeşitli bitki türlerini enfekte ederek önemli zararlara neden olan yaygın bitki parazitleridir. Sebzeler, tarla bitkileri ve süs bitkileri de dahil olma üzere 3000'den fazla konukçusu olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Samsun Atakum, Bafra, Canik, Çarşamba, Ondokuzmayıs, Tekkeköy, Terme ilçelerinde iç mekan, dış mekan ve kesme çiçekleri kapsayan süs bitkileri yetiştirilen alanlardaki kök-ur nematodu türlerinin morfolojik ve polyacrylamide jel elektroforez (PAGE) yöntemi kullanılarak teşhis edilmesi amaçlanmıştır. Değerlendirilmeye alınan 27 süs bitkisi üretim alanının 13' ü (%48) kök-ur nematodları ile bulaşık olarak saptanmıştır. Süs bitkisi üretim alanları sırasıyla Ondokuzmayıs ilçesinde %31,43 ile Om-2, Atakum ilçesinde %7,00 ile At-3, %6,67 ile At-9, %6,00 ile At-8 ve %4,00 ile At-7 olarak belirlenmiştir. Bulaşıklık seviyelerinin göstergesi olan kök-ur ıskalası değerleri 0 ile 10 arasında değişmiş, süs bitkilerinin %6,25'i skala değeri 1-3, %43,75'i skala değeri 4-6, %50'sinin skala değeri 7-10 olarak tespit edilmiştir. Özellikle *Crassula ovata* (Mill.) Druce (Para bitkisi), *Echinopsis tubiflora* (Pfeiff.) Zucc (Kaynana topuzu). ve *Sedum album* L. (Çoban kavurgası) gibi türlerde sırasıyla 9 ur, 10 ur ve 9 ur gibi yüksek ur değerleri kaydedilmiştir. Perineal pattern morfolojisi ve esteraz fenotipi analizleriyle yapılan teşhis sonuçlarına göre, kök ur nematodu türlerinden *Meloidogyne luci* %72.92 oranı ile en yaygın tür olarak saptanmıştır. Onu sırasıyla %22.92 ile *M. incognita*, %18.75 ile *M. arenaria*, %10.42 ile *M. javanica* izlemiştir. Bitki köklerinde birden fazla türün bir arada olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak bu çalışma ile Samsun ilinde süs bitkileri üretim alanlarında kök-ur nematodlarının yaygınlığı ve tür çeşitliliği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler : *Meloidogyne luci*, Esteraz fenotipi, Perineal pattern, Tür teşhisi

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından BAP04-A-2024-4730 proje numarası ile desteklenmiştir.

RECENT APPLIED TECHNIQUES FOR MANIPULATING REACTIVE OXYGEN SPECIES (ROS) IN STIGMA SIGNALING TO CONTROL REPRODUCTIVE BARRIERS IN PLANTS

Dr. Volkan EROĞLU

Ege University, volkan.eroglu@ege.edu.tr - 0000-0003-4868-5988

ABSTRACT

Reactive oxygen species (ROS) are central regulators of pollen–stigma interactions, influencing pollen adhesion, germination, and the establishment of reproductive barriers such as self-incompatibility and interspecific pollination. Recent advances have revealed multiple strategies to manipulate stigma ROS levels, ranging from receptor-mediated signaling to enzymatic, chemical, and genetic interventions. At the signaling level, the FERONIA receptor kinase, together with self-incompatibility receptors, modulates ROS accumulation in stigmatic tissues, thereby enforcing or relaxing reproductive barriers. Targeting these receptor pathways or their downstream components provides a promising route to reshape pollen recognition dynamics. Enzymatic modulation remains a cornerstone: NADPH oxidases (RBOHs) drive ROS production, while peroxidases, catalases, and superoxide dismutases control scavenging. Genetic engineering, gene editing, or chemical inhibitors of these enzymes can shift ROS balance, altering stigma receptivity. Chemical approaches complement these strategies. Exogenous application of nitric oxide (NO) donors decreases ROS levels and enhances pollen tube penetration, while antioxidant compounds such as flavonols, or the activation of endogenous antioxidant pathways, lower oxidative stress and can mitigate reproductive failure. Integrated approaches that combine chemical antioxidants with genetic manipulation of ROS-related enzymes offer multilayered precision in controlling compatibility. In conclusion, current applied techniques for ROS manipulation encompass receptor-level regulation, enzymatic modulation and chemical and antioxidant strategies. Together, these approaches provide novel opportunities for managing reproductive barriers and expanding the potential of crop breeding programs.

Key Words : Stigma signalling, self-incompatibility, plant reproduction

DISPERSE RED 343 BOYAR MADDESİNİN OZONLAMA İLE TEKSTİL ATIKSUYUNDAN GİDERİMİ: PARAMETRE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Dr. Meryem AKSU

Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
E-Posta: meryemm@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0678-7150

Doc.Dr. Nazire Pınar TANATTI

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü
E-Posta: ptanatti@subu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2904-7334

ÖZET

Tekstil endüstrisi, yüksek su tüketimi ve toksik kimyasal içeren atıksu deşarjları nedeniyle çevreye en fazla yük getiren sektörlerden biridir. Özellikle dispers boyar maddeler, düşük çözünürlükleri ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle alıcı ortamlarda kalıcı kirlilik oluşturmakta ve fotosentezi, oksijen transferini engelleyerek ekosistemlere zarar vermektedir. Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde yaygın kullanılan Disperse Red 343 (DR 343) boyar maddesinin ozonlama prosesi ile giderimi incelenmiştir.

DeneySEL çalışmalar 50 mg/L DR 343 içeren sentetik atıksu üzerinde yürütülmüş; pH (3–11), ozon dozu (600–3000 mg/L) ve reaksiyon süresi (1–15 dakika) değişkenlerinin renk giderim verimine etkisi değerlendirilmiştir. Bulgulara göre: Boyar madde gideriminde en yüksek verim pH 3'te %53,46 olarak elde edilmiştir. pH yükseldikçe ozonun kararlılığı azalmış ve 11 pH değerinde verim %18,74'e kadar düşmüştür. Ozon dozunun etkisi incelendiğinde 600 mg/L başlangıç dozunda yalnızca %9,74 giderim sağlanırken, 1800 mg/L'de %91,12'ye ulaşılmış ve 2400 mg/L'nin üzerinde %99'un üzerinde kalıcı giderim elde edilmiştir. Ancak bu noktadan sonra ozon çözünürlüğünün sınırlı olması nedeniyle ek doz artışı ek verim sağlamamıştır. Son olarak reaksiyon süresine bakıldığında, pH 3 ve 1800 mg/L ozon koşullarında 1. dakikada %7,65 giderim gerçekleşirken, 6. dakikada %98,9'a ulaşılmıştır. 7. dakikadan itibaren renk giderim verimi %99'un üzerinde sabitlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, DR 343 gibi kalıcı boyar maddelerin ozonlama prosesi ile kısa sürede ve yüksek verimle giderilebildiğini göstermektedir. Ayrıca, optimum koşullarda (1800 mg/L ozon dozu, pH 3 ve 7 dakika reaksiyon süresi) %99'un üzerinde kalıcı renk giderimi sağlanabilmektedir. Bu bulgular, ozonlamanın tekstil atıksularında sürdürülebilir bir ileri arıtım yöntemi olarak uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : DR 343, tekstil atıksuyu, ozonlama, pH, reaksiyon süresi

REMOVAL OF DISPERSE RED 343 DYE FROM TEXTILE WASTEWATER BY OZONATION: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARAMETER EFFECTS

Dr. Meryem AKSU

Sakarya University, Department of Environmental Engineering
E-mail: meryemm@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0678-7150

Assos. Prof. Dr. Nazire Pınar TANATTI

Sakarya University of Applied Sciences, Department of Environmental Protection
Technologies
E-mail: nptanatti@subu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2904-7334

ABSTRACT

The textile industry is one of the sectors that places the greatest burden on the environment due to high water consumption and the discharge of wastewater containing toxic chemicals. In particular, disperse dyes, with their low solubility and chemical stability, cause persistent pollution in receiving waters, inhibit photosynthesis, and disrupt oxygen transfer, thereby damaging ecosystems. In this study, the removal of a widely used textile dye, Disperse Red 343 (DR 343), by ozonation was investigated.

Experimental studies were conducted on synthetic wastewater containing 50 mg/L of DR 343. The effects of pH (3–11), ozone dose (600–3000 mg/L), and reaction time (1–15 minutes) on color removal efficiency were evaluated. According to the findings: the highest removal efficiency was obtained at pH 3 with 53.46%, while increasing pH reduced ozone stability and efficiency dropped to 18.74% at pH 11. Regarding the effect of ozone dose, only 9.74% removal was achieved at 600 mg/L, while at 1800 mg/L the efficiency increased to 91.12%, and stable removal above 99% was observed at doses over 2400 mg/L. However, further increases beyond this point did not improve efficiency due to the limited solubility of ozone. Finally, when the effect of reaction time was examined under pH 3 and 1800 mg/L ozone conditions, 7.65% removal occurred at the 1st minute, reaching 98.9% at the 6th minute. From the 7th minute onward, color removal efficiency remained consistently above 99%.

The results demonstrate that persistent dyes such as DR 343 can be removed effectively and rapidly through ozonation. Under optimum conditions (1800 mg/L ozone dose, pH 3, and 7 minutes reaction time), stable color removal above 99% was achieved. These findings indicate that ozonation is a sustainable and advanced treatment method applicable to textile wastewater. Keywords : DR 343, textile wastewater, ozonation, pH, reaction time

THE POLITICS OF DAYLIGHT: CLIMATE JUSTICE, HOUSING AND URBAN INEQUALITIES IN ISTANBUL

Dr. EMRE DEMİRTAŞ

Sakarya University, edemirtas@sakarya.edu.tr - 0000-0002-6987-668X

ABSTRACT

This paper investigates access to daylight through the theoretical lens of *climate justice*, situating it within the intertwined domains of housing, environmental equity, and the right to the city. In contemporary architectural and planning practices, daylight is typically treated as a technical parameter—an aspect of orientation, fenestration or energy performance. However, this study reinterprets daylight as a *social right* embedded within the politics of urban inequality and environmental vulnerability. It argues that the unequal distribution of daylight across Istanbul's housing environments reflects deeper tensions between market-driven urban development and the ethical imperatives of just and inclusive urbanism. This research aims to understand how daylight deprivation operates as a form of spatial injustice in Istanbul, where socio-economic disparities and environmental risks converge. The study draws on the conceptual frameworks of *climate justice* and *the right to the city*, emphasizing that access to natural light is a basic condition for a dignified urban life. Reinterpreting daylight in this way foregrounds the need to democratize environmental well-being in a city increasingly defined by vertical growth and privatized space. The research is situated within urban studies and architecture, employing an interpretive, mixed-method approach grounded in empirical evidence. An online survey conducted with 400 residents across Istanbul's districts captures subjective experiences of daylight access, perceived health impacts, and awareness of daylight as a civic right. The findings reveal a pronounced inverse correlation between household income and daylight accessibility. While residents in affluent areas such as Beşiktaş, Kadıköy, and Sarıyer enjoy greater sunlight exposure due to spatial privilege, those in lower-income districts, including Esenyurt, Bağcılar, and Gaziosmanpaşa, live in dense, overshadowed neighborhoods with limited light penetration. Crucially, spatial analysis demonstrates that districts most deprived of daylight substantially overlap with Istanbul's *highest earthquake risk zones*, highlighting the entanglement of environmental injustice, social precarity, and physical vulnerability. This intersection underscores that daylight deprivation is not an isolated architectural flaw but a symptom of broader structural inequality within urban governance. In conclusion, the paper argues that daylight must be recognized as a *constitutive element of the right to the city*. This condition shapes not only the habitability of homes but also the resilience and inclusivity of the urban environment. Integrating daylight access into housing and planning policies is essential for advancing climate justice, promoting social equity, and fostering urban resilience in the face of compounding crises.

Keywords : climate justice; right to daylight; right to the city; housing; spatial inequality



PERFORMANCE ENHANCEMENT OF MEMBRANE DISTILLATION PROCESS IN FRUIT JUICE CONCENTRATION BY MEMBRANE SURFACE MODIFICATION

Samir K. Deshmukh, Mayur M. Tajane

Jawaharlal Darda Institute of Engineering and Technology, Yavatmal, Maharashtra State, 445001, India. He is now with the Department of Chemical Engineering, affiliated to, Sant Gadge Baba Amravati University, Amravati

Abstract:

In this work Membrane Distillation is applied to concentrate orange Juice. Clarified orange juice (11o Brix) obtained from fresh fruits and a sugar solution was subjected to membrane distillation. The experiments were performed on a flat sheet module using orange juice and sucrose solution as feeds. The concentration of a sucrose solution, used as a model fruit juice and also orange juice, was carried out in a direct contact membrane distillation using hydrophobic PTFE membrane of pore size 0.2 μm and porosity 70%. Surface modification of PTFE membrane has been carried out by treating membrane with alcohol and water solution to make it hydrophilic and then hydrophobicity was regained by drying. The influences of the feed temperature, feed concentration, flow rate, operating time on the permeate flux were studied for treated and non treated membrane. In this work treated and non treated membrane were compared in terms of water flux, Within the tested range, MD with surface modified membrane the water flux has been significantly improved by treating the membrane surface.

Keywords: Membrane Distillation, Surface Modification, Orange Juice. Polytetrafluoroethylene.

PRODUCTION OF APRICOT VINEGAR USING AN ISOLATED ACETOBACTER STRAIN FROM IRANIAN APRICOT

Keivan Beheshti Maal, Rasoul Shafiei, Noushin Kabiri

Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, Islamic Azad University,
Falavarjan Branch, Isfahan, Iran

Abstract:

Vinegar or sour wine is a product of alcoholic and subsequent acetous fermentation of sugary precursors derived from several fruits or starchy substrates. This delicious food additive and supplement contains not less than 4 grams of acetic acid in 100 cubic centimeters at 20°C. Among the large number of bacteria that are able to produce acetic acid, only few genera are used in vinegar industry most significant of which are *Acetobacter* and *Gluconobacter*. In this research we isolated and identified an *Acetobacter* strain from Iranian apricot, a very delicious and sensitive summer fruit to decay, we gathered from fruit's stores in Isfahan, Iran. The main culture media we used were Carr, GYC, Frateur and an industrial medium for vinegar production. We isolated this strain using a novel miniature fermentor we made at Pars Yeema Biotechnologists Co., Isfahan Science and Technology Town (ISTT), Isfahan, Iran. The microscopic examinations of isolated strain from Iranian apricot showed gram negative rods to cocobacilli. Their catalase reaction was positive and oxidase reaction was negative and could ferment ethanol to acetic acid. Also it showed an acceptable growth in 5%, 7% and 9% ethanol concentrations at 30°C using modified Carr media after 24, 48 and 96 hours incubation respectively. According to its tolerance against high concentrations of ethanol after four days incubation and its high acetic acid production, 8.53%, after 144 hours, this strain could be considered as a suitable industrial strain for a production of a new type of vinegar, apricot vinegar, with a new and delicious taste. In conclusion this is the first report of isolation and identification of an *Acetobacter* strain from Iranian apricot with a very good tolerance against high ethanol concentrations as well as high acetic acid productivity in an acceptable incubation period of time industrially. This strain could be used in vinegar industry to convert apricot spoilage to a beneficiary product and mentioned characteristics have made it as an amenable strain in food and agricultural biotechnology.

Keywords: Acetic Acid Bacteria, *Acetobacter*, Fermentation, Food and Agricultural Biotechnology, Iranian Apricot, Vinegar.

EFFECT OF FERMENTATION TIME ON XANTHAN GUM PRODUCTION FROM SUGAR BEET MOLASSES

Marzieh Moosavi- Nasab, Safoora Pashangeh, Maryam Rafsanjani

Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Shiraz University,
Shiraz, Fars 7144165186 I.R.Iran

Abstract:

Xanthan gum is a microbial polysaccharide of great commercial significance. The purpose of this study was to select the optimum fermentation time for xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* (NRRL-B-1459) using 10% sugar beet molasses as a carbon source. The pre-heating of sugar beet molasses and the supplementation of the medium were investigated in order to improve xanthan gum production. Maximum xanthan gum production in fermentation media (9.02 g/l) was observed after 4 days shaking incubation at 25°C and 240 rpm agitation speed. A solution of 10% sucrose was used as a control medium. Results indicated that the optimum period for xanthan gum production in this condition was 4 days.

Keywords: Biomass, Molasses, Xanthan gum, *Xanthomonas campestris*

UTILIZATION JUICE WASTES AS CORN REPLACEMENT IN THE BROILER DIET

Yose Rizal, Maria Endo Mahata, Mira Andriani, Guoyao Wu

Faculty of Animal Science, University of Andalas, Padang, West Sumatra, Indonesia

Abstract:

An experiment was conducted with 80 unsexed broilers of the Arbor Acres strain to determine the capability of a carrot and fruit juice wastes mixture (carrot, apple, mango, avocado, orange, melon and Dutch egg plant) in the same proportion for replacing corn in broiler diet. This study involved a completely randomized design (CRD) with 5 treatments (0, 5, 10, 15, and 20% of juice wastes mixture in diets) and 4 replicates per treatment. Diets were isonitrogenous (22% crude protein) and isocaloric (3000 kcal/kg diet). Measured variables were feed consumption, average daily gain, feed conversion, as well as percentages of abdominal fat pad, carcass, digestive organs (liver, pancreas and gizzard), and heart. Data were analyzed by analysis of variance for CRD. Increasing juice wastes mixture levels in diets increased feed consumption ($P < 0.05$) and average daily gain ($P < 0.01$), while improving feed utilization efficiency ($P < 0.05$). These treatments also affected ($P < 0.05$) abdominal fat pad percentage but had no effect ($P > 0.05$) on carcass, liver, pancreas, gizzard or heart percentages. In conclusion, up to 20% of juice wastes mixture could be included for the broiler diet to effectively replace up to 40% corn in the diet.

Keywords: average daily gain, feed consumption, feed conversion, juice waste mixture



SURVEY OF IMPACT OF PRODUCTION AND ADOPTION OF NANOCROPS ON FOOD SECURITY

Sahar Dehyouri, Seyed Jamal Farajollah Hosseini

Islamic azad university of Science and research branch Tehran – Iran

Abstract:

Perspective of food security in 21 century showed shortage of food that production is faced to vital problem. Food security strategy is applied longtime method to assess required food. Meanwhile, nanotechnology revolution changes the world face. Nanotechnology is adequate method utilize of its characteristics to decrease environmental problems and possible further access to food for small farmers. This article will show impact of production and adoption of nanocrops on food security. Population is researchers of agricultural research center of Esfahan province. The results of study show that there was a relationship between uses, conversion, distribution, and production of nanocrops, operative human resources, operative circumstance, and constrains of usage of nanocrops and food security. Multivariate regression analysis by enter model shows that operative circumstance, use, production and constrains of usage of nanocrops had positive impact on food security and they determine in four steps 20 percent of it.

Keywords: adoption, food safety, food security, nanocrops

SOUS VIDE PACKAGING TECHNOLOGY APPLICATION FOR SALAD WITH MEAT IN MAYONNAISE SHELF LIFE EXTENSION

Vita Levkane, Sandra Muizniece-Brasava, Lija Dukalska

Faculty of Food Technology, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia

Abstract:

Experiments have been carried out at the Latvia University of Agriculture Department of Food Technology. The aim of this work was to assess the effect of sous vide packaging during the storage time of salad with meat in mayonnaise at different storage temperature. Samples were evaluated at 0, 1, 3, 7, 10, 15, 18, 25, 29, 42, and 52 storage days at the storage temperature of $+4\pm 0.5$ °C and $+10\pm 0.5$ °C. Experimentally the quality of the salad with meat in mayonnaise was characterized by measuring colour, pH and microbiological properties. The sous vide packaging was effective in protecting the product from physical, chemical, and microbial quality degradation. The sous vide packaging significantly reduces microbial growth at storage temperature of $+4\pm 0.5$ °C and $+10\pm 0.5$ °C. Moreover, it is possible to extend the product shelf life to 52 days even when stored at $+10\pm 0.5$ °C.

Keywords: salad with meat in mayonnaise, shelf life, sous vide packaging.

INVESTIGATION OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE BACTERIAL CELLULOSE PRODUCED BY GLUCONACETOBACTER XYLINUS FROM DATE SYRUP

Marzieh Moosavi-Nasab, Ali R. Yousefi

Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Shiraz University,
Shiraz, I.R.Iran

Abstract:

Bacterial cellulose, a biopolysaccharide, is produced by the bacterium, *Gluconacetobacter xylinus*. Static batch fermentation for bacterial cellulose production was studied in sucrose and date syrup solutions (Bx. 10%) at 28 °C using *G. xylinus* (PTCC, 1734). Results showed that the maximum yields of bacterial cellulose (BC) were 4.35 and 1.69 g/100 ml for date syrup and sucrose medium after 336 hours fermentation period, respectively. Comparison of FTIR spectrum of cellulose with BC indicated appropriate coincidence which proved that the component produced by *G. xylinus* was cellulose. Determination of the area under X-ray diffractometry patterns demonstrated that the crystallinity amount of cellulose (83.61%) was more than that for the BC (60.73%). The scanning electron microscopy imaging of BC and cellulose were carried out in two magnifications of 1 and 6K. Results showed that the diameter ratio of BC to cellulose was approximately 1/30 which indicated more delicacy of BC fibers relative to cellulose.

Keywords: *Gluconacetobacter xylinus*, Fourier Transform Infrared spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, X-ray diffractometry

COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL

Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd

Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Teknologi Malaysia

Abstract:

Elateriospermum tapos seed (buah perah) is the one of the rich sources of polyunsaturated fatty acids. It contains high percentage of oleic acid which is the important component to develop nervous system and also α -linolenic acid (ALA) which is the precursor of omega-3 fatty acids series to synthesize eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). However, there is less study about this valuable oilseed and exploit its potential. Therefore, this paper is to assess the comparison of physico-chemical properties and fatty composition of perah oil to palm oil and soybean oil. From the comparison, perah oil shows low peroxide value means it has good oxidative stability and also high iodine values shows that it can be used in paint industry. The study shown that perah oil is comparable to palm oil and soybean oil, so it has high potential to be exploited in the oleochemical, pharmaceutical, cosmetics and paint industries.

Keywords: α -linolenic acid, palm oil, perah oil, soybean oil

PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES

Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan

Department of Food Science, Faculty of Agrotechnology and Food Science, Universiti
Malaysia Terengganu, Terengganu, Malaysia

Abstract:

This study was conducted in order to determine the physical properties and stability of mayonnaise-like emulsions as affected by modified yam starches. Native yam starch was modified via pre-gelatinization and cross-linking phosphorylation procedures. The emulsions (50% oil dispersed phase) were prepared with 0.3% native potato, native yam, pre-gelatinized yam and cross-linking phosphorylation yam starches. The droplet size of surface weighted mean diameter was found to be significantly ($p < 0.05$) lower in the sample with cross-linking phosphorylation yam starch as compared to other samples. Moreover, the viscosity of the sample with pregelatinized yam starch was observed to be higher than that of other samples. The phase separation stability was low in the freshly prepared and stored (45 days, 5°C) emulsions containing native yam starch. This study thus generally suggested that modified yam starches were more suitable (i.e. better physical properties and stability) to be used as stabilizers in a similar system i.e. light mayonnaises, rather than a native yam starch.

Keywords: Oil-in-water emulsions, low-fat mayonnaises, modified yam starches, droplet size distribution, viscosity.



OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran

Suganthi Devadason Marine Research Institute, Tuticorin, TamilNadu, India

Abstract:

Optimization of extraction of phenolic compounds from *Avicennia marina* using response surface methodology was carried out during the present study. Five levels, three factors rotatable design (CCRD) was utilized to examine the optimum combination of extraction variables based on the TPC of *Avicennia marina* leaves. The best combination of response function was 78.41 °C, drying temperature; 26.18°C; extraction temperature and 36.53 minutes of extraction time. However, the procedure can be promptly extended to the study of several others pharmaceutical processes like purification of bioactive substances, drying of extracts and development of the pharmaceutical dosage forms for the benefit of consumers.

Keywords: *Avicennia marina*, Central Composite Rotatable Design (CCRD), Response Surface Methodology, Total Phenolic contents (TPC)

CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION

Abdelatif S. H. El-Jasser

Department of Nutrition, Riyadh 11488, P.O Box 35047, Saudi Arabia

Abstract:

The aim of the present study was to investigate the chemical and biological properties of local cowpea seed protein cultivated in Gizan region. The results showed that the cowpea and its products contain high level of protein (22.9-77.6%), high carbohydrates (9.4-64.3%) and low fats (0.1-0.3%). The trypsin and chymotrypsin activities were found to be 32.2 and 15.2 units, respectively. These activities were not affected in both defatted and protein concentrate whereas they were significantly reduced in isolated protein and cooked samples. The phytate content of cooked and concentrated cowpea samples varied from 0.25% -0.32%, respectively. Tannin content was found to be 0.4% and 0.23% for cooked and raw samples, respectively. The in vitro protein digestibility was very high in cowpea seeds (75.04-78.76%). The biological evaluation using rats showed that the group fed with animal feed containing casein gain more weight than those fed with that containing cowpea. However, the group fed with cooked cowpea gain more weight than those fed with uncooked cowpea. On the other hand, in vivo digestion showed high value (98.33%) among the group consumed casein compared to other groups those consumed cowpea contains feed. This could be attributed to low antinutritional factors in casein contains feed compared to those of cowpea contains feed because cooking significantly increased the digestion rate (80.8% to 83.5%) of cowpea contains feed. Furthermore, the biological evaluation was high (91.67%) of casein containing feed compared to that of cowpea containing feed (80.83%-87.5%). The net protein utilization (NPU) was higher (89.67%) in the group fed with casein containing feed than that of cowpea containing feed (56.33%-69.67%).

Keywords: Biological properties, Cowpea seed protein, Antinutritional factors, In vitro digestibility

INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN

A. Molee, N. Duanghaklang, P. Mernkrathoke

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

The objective was to determine the single gene and interaction effect of composite genotype of beta-kappa casein and DGAT1 gene on milk yield (MY) and milk composition, content of milk fat (%FAT), milk protein (%PRO), solid not fat (%SNF), and total solid (%TS) in crossbred Holstein cows. Two hundred and thirty- one cows were genotyped with PCR-RFLP for DGAT1 and composite genotype data of beta-kappa casein from previous work were used. Two model, (1), and (2), was used to estimate single gene effect, and interaction effect on the traits, respectively. The significance of interaction effects on all traits were detected. Most traits have consistent pattern of significant when model (1), and (2) were compared, except the effect of composite genotype of betakappa casein on %FAT, and the effect of DGAT1 on MY, which the significant difference was detected in only model (1).The results suggested that when the optimum of all traits was necessary, interaction effect should be concerned.

Keywords: composite genotype of beta-kappa casein, DGAT1gene, Milk composition, Milk yield

REVEA LING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NACL: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE

Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

Dispersions of casein micelles (CM) were studied at a constant protein concentration of 5 wt % in high NaCl environment ranging from 0% to 12% by Dynamic light scattering (DLS) and Fourier Transform Infrared (FTIR). The rehydration profiles obtained were interpreted in term of wetting, swelling and dispersion stages by using a turbidity method. Two behaviours were observed depending on the salt concentration. The first behaviour (low salt concentration) presents a typical rehydration profile with a significant change between 3 and 6% NaCl indicating quick wetting, swelling and long dispersion stage. On the opposite, the dispersion stage of the second behaviour (high salt concentration) was significantly shortened indicating a strong modification of the protein backbone. A salt increase result to a destabilization of the micelle and the formation of mini-micelles more or less aggregated indicating an average micelles size ranging from 100 to 200 nm. For the first time, the estimations of secondary structural elements (irregular, β -sheet, α -helix and turn) by the Amide III assignments were correlated with results from Amide I.

Keywords: Casein, DLS, FTIR, Ionic environment.

PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY

Pattama Ratana-Arporn, Pongtep Wilaipun

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand.

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand

Abstract:

White scar oyster (*Crassostrea belcheri*) is often eaten raw and being the leading vehicle for foodborne disease, especially *Salmonella Weltevreden* which exposed the prominent and most resistant to radiation. Gamma irradiation at a low dose of 1 kGy was enough to eliminate *S. Weltevreden* contaminated in oyster meat at a level up to 5 log CFU/g while it still retain the raw characteristics and equivalent sensory quality as the non-irradiated one. Process development of ready-to-eat chilled oyster meat was conducted by shucking the meat, individually packed in plastic bags, subjected to 1 kGy gamma radiation at chilled condition and then stored in 4°C refrigerated temperature. Microbiological determination showed the absence of *S. Weltevreden* (5 log CFU/g initial inoculated) along the whole storage time of 30 days. Sensory evaluation indicated the decreasing in sensory scores along storage time which determining the product shelf life to be 18 days compared to 15 days of nonirradiated one. The most advantage of developed process was to provide the safe raw oyster to consumers and in addition sensory quality retained and 3-day extension shelf life also exist.

Keywords: decontamination, food safety, irradiation, oyster, *Salmonella Weltevreden*

USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS

Phd. Reza Sigari Tabrizi, Dr. Yeap Peik Foong, Nazli Ebrahimi
Department of Management, University of Malaya, Malaysia

ABSTRACT

This study employs Interpretive Structural Modeling (ISM) to analyze and identify the complex interrelationships among various criteria critical to effective knowledge management within Malaysian organizations. Knowledge management is increasingly recognized as a strategic asset, yet organizations face challenges in prioritizing and understanding how different factors influence one another. The research begins by reviewing existing literature to compile a comprehensive list of criteria, including organizational culture, technology infrastructure, leadership support, and employee engagement. Using expert input and ISM methodology, the study constructs a hierarchical model that visually represents the dependencies and driving forces among these criteria. Findings reveal that leadership commitment and organizational culture serve as foundational drivers that significantly impact other elements such as technology adoption and knowledge sharing practices. The model also highlights feedback loops and mutual influences that complicate straightforward management approaches. By clarifying these relationships, the research provides managers with a structured framework to develop targeted strategies for enhancing knowledge management effectiveness. The study contributes to both theoretical understanding and practical application, offering insights relevant to organizations in Malaysia and comparable emerging economies. Future research directions include validating the model across different sectors and integrating quantitative data for more robust analysis.

Keywords: Knowledge management, Interpretive Structural Modeling, organizational culture, leadership, Malaysia

EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET

Ioan Popa, Radu Lupu, Cristiana Tudor

Department of Finance, Bucharest University of Economic Studies, Romania

ABSTRACT

This paper investigates the role of market beta in asset pricing within the Romanian stock market, aiming to understand how systematic risk influences expected returns in an emerging market context. Market beta, a measure of an asset's sensitivity to overall market movements, is a fundamental concept in financial theory, yet its empirical validity can vary across markets. The study uses historical stock price data and market indices from the Bucharest Stock Exchange over a ten-year period. Employing regression analysis and the Capital Asset Pricing Model (CAPM), the research tests the relationship between beta values and realized returns for a diverse set of equities. Results indicate a positive but nonlinear association, suggesting that while higher beta stocks generally yield higher returns, the relationship is influenced by market volatility and investor behavior specific to Romania. The paper also explores sectoral differences and the impact of macroeconomic factors on beta's predictive power. These findings contribute to a nuanced understanding of risk-return dynamics in transitional economies and offer practical implications for portfolio management and risk assessment. The study recommends further investigation into alternative risk measures and the integration of behavioral finance perspectives to enhance asset pricing models in emerging markets.

Keywords: Market beta, asset pricing, Romanian stock market, CAPM, systematic risk

ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, Filipa Vieira
Department of Finance, Bucharest University of Economic Studies, Romania

ABSTRACT

This research evaluates an offshore wind power project through a comprehensive assessment encompassing economic viability, strategic alignment, and environmental impact. As renewable energy gains prominence in global energy transitions, offshore wind offers significant potential but also presents unique challenges. The study begins by analyzing project costs, expected revenues, and financing structures to determine economic feasibility. Strategic assessment considers alignment with national energy policies, market demand, and stakeholder interests. Environmental evaluation focuses on potential impacts on marine ecosystems, biodiversity, and local communities, incorporating environmental impact assessments and stakeholder consultations. The methodology integrates cost-benefit analysis, SWOT analysis, and ecological risk assessment to provide a holistic view. Findings demonstrate that while the project promises substantial long-term economic and environmental benefits, initial capital costs and ecological concerns require careful management. The research highlights the importance of adaptive strategies to mitigate environmental risks and optimize stakeholder engagement. The study offers valuable insights for policymakers, investors, and environmental planners aiming to balance sustainable development with energy needs. Future work is suggested to monitor project implementation and assess cumulative environmental effects over time.

Keywords: Offshore wind power, economic assessment, environmental impact, renewable energy, strategic planning

APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES

Dr. Omid Jadidi, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Firouzi, Enzo Bagliery
Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Iran

ABSTRACT

Supplier selection is a critical decision-making process in supply chain management, directly affecting operational efficiency and competitiveness. This study applies the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method to address supplier selection challenges by evaluating multiple criteria simultaneously. The research identifies key criteria such as cost, quality, delivery reliability, and sustainability performance through literature review and expert consultations. Using a case study from the manufacturing sector, the TOPSIS approach ranks potential suppliers based on their closeness to the ideal solution, enabling decision-makers to identify the most suitable partner. The methodology incorporates weighting schemes to reflect organizational priorities and sensitivity analysis to test robustness. Results demonstrate that TOPSIS provides a transparent and systematic framework for complex supplier evaluation, improving decision quality and stakeholder confidence. The study also discusses practical implementation considerations and potential integration with other multi-criteria decision-making tools. By enhancing supplier selection processes, organizations can achieve cost savings, quality improvements, and stronger supply chain resilience. The paper concludes by recommending further research on dynamic supplier evaluation models incorporating real-time data and risk factors.

Keywords: Supplier selection, TOPSIS, multi-criteria decision making, supply chain management



CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY

Ajay Gupta, Arvind Bhardwaj, Arun Kanda

Department of Operations Management, Indian Institute of Management, Ahmedabad, India

ABSTRACT

The Theory of Constraints (TOC) is an emerging management philosophy that focuses on identifying and addressing the most critical limiting factor (constraint) that impedes organizational performance. This paper outlines the core principles of TOC and examines its application across various industries to improve process flow, productivity, and profitability. The study begins by explaining the fundamental concepts, including the five focusing steps and the importance of continuous improvement. It explores how TOC integrates with other management approaches such as Lean and Six Sigma to create synergistic effects. Through case studies in manufacturing, healthcare, and service sectors, the research illustrates practical benefits such as reduced lead times, inventory optimization, and enhanced throughput. The paper also discusses challenges in implementing TOC, including organizational resistance and the need for cultural change. Furthermore, it highlights recent developments in TOC theory and tools, such as the Thinking Processes and Critical Chain Project Management. The study concludes that TOC offers a powerful framework for addressing complex operational problems and driving sustainable competitive advantage. It encourages further empirical research to validate TOC's effectiveness in diverse contexts and to explore its integration with digital transformation initiatives.

Keywords: Theory of Constraints, operational management, process improvement, continuous improvement

FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION

Dahir A. Ga'al, Wardah Zainal Abidin

Department of Information Systems, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

ABSTRACT

Effective policy management is essential for ensuring compliance, governance, and strategic alignment within enterprises. This paper proposes a comprehensive framework for managing enterprise policies, addressing challenges in policy creation, dissemination, enforcement, and monitoring. The framework integrates technological solutions, organizational processes, and stakeholder involvement to facilitate coherent policy administration. It emphasizes the importance of clear policy hierarchies, version control, and audit trails to maintain transparency and accountability. The study includes a review of existing policy management tools and identifies gaps related to scalability, adaptability, and user engagement. Using qualitative data from industry experts and case studies, the research validates the framework's applicability across different sectors. The findings suggest that adopting such a framework can reduce policy conflicts, improve regulatory compliance, and enhance organizational agility. The paper concludes with recommendations for implementing the framework, highlighting the role of leadership commitment and continuous evaluation. Future research directions include developing automated policy management systems using artificial intelligence and machine learning to further optimize enterprise governance.

Keywords: Policy management, enterprise governance, compliance, organizational processes

WHEN ELUCIDATIONS "INDUCE" MISTAKES: AN EXAMINATION OF DEPICTIONS AND COMPRESSIONS

Assoc. Prof. Dr. Michael Lissack
Department of Finance, Riga Technical University, Latvia

ABSTRACT

This paper investigates the cognitive and communicative phenomena whereby attempts to clarify or explain complex information—referred to as "elucidations"—may paradoxically lead to misunderstandings or errors. The study focuses on the roles of depictions (visual or verbal representations) and compressions (simplifications or abstractions) in knowledge transmission. Through a mixed-methods approach combining theoretical analysis and empirical case studies, the research highlights how certain modes of explanation can unintentionally distort meaning or omit critical nuances, thereby inducing mistakes in interpretation or application. The paper explores the balance between clarity and oversimplification, emphasizing that while simplification aids comprehension, excessive compression risks losing essential details. It also examines the impact of different media and cultural contexts on the effectiveness of elucidations. Findings suggest that educators, communicators, and knowledge managers must carefully design explanations to minimize induced errors, employing iterative feedback and multimodal representations. The study contributes to understanding how knowledge is constructed and shared, with implications for education, organizational communication, and information design. Future research directions include developing frameworks to optimize elucidation strategies and reduce cognitive biases in interpretation.

Keywords: knowledge communication, elucidation, cognitive errors, depictions, information compression

IMPLEMENTATION OF MICROSOFT TECHNOLOGIES IN COURSEWORK – AN INSTANCE STUDY

Lilac Al Safadi
Rana Abu Nafesa
Regina Garcia

Department of Computer Science, University of Jordan, Jordan

ABSTRACT

This study examines the practical integration of Microsoft technologies within higher education coursework, focusing on a case study at the University of Jordan. The research assesses how tools such as Microsoft Teams, OneNote, and Power BI are employed to enhance teaching and learning experiences. Data were collected through surveys, interviews, and classroom observations involving faculty and students across multiple departments. The findings reveal that Microsoft technologies facilitate collaboration, improve content delivery, and support data-driven decision-making in academic settings. However, challenges such as limited digital literacy, infrastructure constraints, and resistance to change were also identified. The study highlights best practices for successful implementation, including comprehensive training, technical support, and alignment with pedagogical goals. It further discusses the role of these technologies in fostering interactive and flexible learning environments, especially under circumstances requiring remote or hybrid education. The paper concludes by recommending institutional policies to promote sustainable technology adoption and continuous evaluation to maximize educational benefits. This research contributes to understanding the impact of digital tools on curriculum modernization and offers practical insights for educators and administrators.

Keywords: Microsoft technologies, educational technology, digital learning, higher education, technology adoption

CYBERSPACE: A NOVEL MEDIUM TO ADVANCE TRADITIONAL DANCES IN INDONESIA PERSIAN BAZAARS: THE DEMONSTRATION OF STABLE IDEAS

Dr. Maria Satya Rani
Fandy Tjiptono
Suyoto

Department of Cultural Studies, Gadjah Mada University, Indonesia

ABSTRACT

This interdisciplinary study explores how cyberspace serves as an innovative platform for preserving and promoting traditional Indonesian dances within the context of Persian bazaars, symbolizing a cultural exchange and the demonstration of enduring ideas. The research investigates digital media's role in transcending geographical boundaries to sustain intangible cultural heritage. Through ethnographic fieldwork, digital content analysis, and interviews with dancers, cultural practitioners, and audiences, the study reveals how online spaces facilitate the transmission, adaptation, and reinterpretation of traditional dance forms. It highlights the challenges of maintaining authenticity while embracing digital transformation, as well as the opportunities for creative collaboration and audience engagement. The paper discusses how cyberspace enables marginalized cultural expressions to reach global audiences, fostering intercultural dialogue and identity affirmation. Moreover, it examines the symbolic significance of Persian bazaars as a metaphor for cultural stability and exchange. The findings underscore the importance of integrating digital strategies into cultural preservation efforts and suggest policy implications for supporting sustainable cultural practices in the digital age. This research contributes to the broader discourse on technology, culture, and globalization.

Keywords: cyberspace, traditional dance, cultural preservation, digital media, intercultural exchange

ELEMENTS INFLUENCING ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES AMONG HOTELS IN MALAYSIA

Dr. Aida Amirazodi

Faculty of Environmental Science, University of Malaya, Malaysia

ABSTRACT

This research investigates the factors influencing ecological management practices among hotels in Malaysia, a country experiencing rapid tourism growth and increasing environmental concerns. Using a mixed-methods approach that combines surveys of hotel managers and in-depth interviews, the study identifies key drivers and barriers to adopting sustainable practices. Elements such as organizational commitment, regulatory compliance, customer demand, financial incentives, and staff training emerged as significant influences. The research also explores how cultural values and environmental awareness shape managerial decisions. Findings indicate that while many hotels recognize the importance of ecological management, implementation varies widely due to resource limitations and competing priorities. The study highlights best practices including energy efficiency, waste reduction, water conservation, and green certification programs. It emphasizes the role of government policies and industry associations in promoting sustainability standards. The paper concludes with recommendations for enhancing ecological management through education, incentives, and stakeholder collaboration to ensure the tourism sector's long-term environmental and economic viability. This study contributes to understanding sustainable tourism development in emerging markets.

Keywords: ecological management, sustainable tourism, hotels, Malaysia, environmental practices



RESILIENT HUMAN RIGHTS GOVERNANCE: FORMULATING INTERNATIONAL STANDARDS

Zaiton Samdin

Kasimu Abdu Bakori

Hamimah Hassan

Faculty of Law, University of Cape Town, South Africa

ABSTRACT

This paper addresses the urgent need for resilient human rights governance by proposing the formulation of robust international standards that can withstand political, social, and economic challenges. The study reviews existing human rights frameworks and critiques their limitations in adapting to contemporary crises such as armed conflicts, authoritarianism, and global pandemics. It advocates for a dynamic governance model that integrates flexibility, accountability, and inclusivity to protect vulnerable populations effectively. Through comparative legal analysis and stakeholder consultations, the research identifies core principles for resilient governance, including enforceability, participatory mechanisms, and cross-sector collaboration. The paper also examines the role of international organizations, states, and civil society in advancing these standards. Emphasis is placed on the balance between universal norms and local contexts to ensure legitimacy and effectiveness. The findings suggest that strengthening human rights governance requires innovative legal instruments, enhanced monitoring, and capacity-building initiatives. The study contributes to the discourse on global justice and offers policy recommendations for international bodies aiming to reinforce human rights protections in an increasingly complex world.

Keywords: human rights governance, international standards, resilience, global justice



DETERMINANTS FOR TRIUMPH IN EXPATRIATION OF MALAYSIAN INTERNATIONAL CORPORATIONS

Helen P. Greatrex

School of Business, University of Nottingham Malaysia Campus, Korea

ABSTRACT

This study explores the critical determinants that influence the success of expatriation assignments within Malaysian international corporations. Drawing on qualitative interviews with expatriates, human resource managers, and organizational leaders, the research identifies personal, organizational, and cultural factors that contribute to expatriate effectiveness and adjustment. Key determinants include cross-cultural competence, organizational support systems, clear communication channels, and family integration strategies. The study also highlights challenges such as cultural shock, role ambiguity, and repatriation difficulties. Findings suggest that corporations that invest in comprehensive pre-departure training, ongoing support, and career development opportunities experience higher expatriate success rates. The paper emphasizes the strategic importance of expatriation in global business expansion and knowledge transfer. It concludes with practical recommendations for multinational corporations to enhance expatriate management policies and foster sustainable international operations. This research adds to the understanding of global human resource management and expatriate dynamics in emerging economies.

Keywords: expatriation, international corporations, cross-cultural management, Malaysia, human resource management

OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER

Saead Negahdari, Davood Jalali Vahid

Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Abstract:

Nowadays, the importance of energy saving is clearance to everyone. By attention to increasing price of fuels and also the problems of environment pollutions, there are the most efforts for using fuels littler and more optimum in everywhere. This essay studies optimizing of gas consumption in gas-burner space heaters. In oven of each gas-burner space heaters there is two snags to prevent the hot air (the result of combustion of natural gas) to go out of oven of the gas-burner space heaters directly without delivering its heat to the space of favorite environment like a room. These snags cause a excess circulating that helps hot air deliver its heat to the space of favorite environment. It means the exhaust air temperature will be decreased then when there are no snags. This is the aim of this essay to use maximum potential energy of the natural gas to make heat. In this study, by the help of a finite volume software (FLUENT) consumption of the gas-burner space heaters is simulated and optimized. At the end of this writing, by comparing the results of software and experimental results, it will be proved the authenticity of this method.

Keywords: FLUENT, Heat transfer, Oven of Gas-burner spaceheaters, Simulation.



DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER

Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo

Department of Control System Engineering, Mokpo Nat'l University , Korea

Abstract:

In this paper, an automatic guided mobile robot using a new magnetic position meter is described. In order to measure the lateral position of a mobile robot, a new magnetic position meter is developed. The magnetic position meter can detect the position of a magnetic wire on the center of road. A mobile robot is designed with a sensing system, a steering system and a driving system. The designed mobile robot is tested to verify the performance of automatic guidance.

Keywords: Autonomous vehicle, magnetic position meter, steering, magnet.

A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS

Fotis N. Koumboulis, Maria P. Tzamtzi

Department of Automation, Halkis Institute of Technology, 34400, Psahna, Evia, Greece.

Abstract:

A supervisory scheme is proposed that implements Stepwise Safe Switching Logic. The functionality of the supervisory scheme is organized in the following eight functional units: Step- Wise Safe Switching unit, Common controllers design unit, Experimentation unit, Simulation unit, Identification unit, Trajectory cruise unit, Operating points unit and Expert system unit. The supervisory scheme orchestrates both the off-line preparative actions, as well as the on-line actions that implement the Stepwise Safe Switching Logic. The proposed scheme is a generic tool, that may be easily applied for a variety of industrial control processes and may be implemented as an automation software system, with the use of a high level programming environment, like Matlab.

Keywords: Supervisory systems, safe switching, nonlinear systems.

GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING

Johan Segeborn, Johan S. Carlson, Robert Bohlin, Rikard Söderberg

Department of Product and production development at Chalmers University of technology

Abstract:

This paper presents a method to support dynamic packing in cases when no collision-free path can be found. The method, which is primarily based on path planning and shrinking of geometries, suggests a minimal geometry design change that results in a collision-free assembly path. A supplementing approach to optimize geometry design change with respect to redesign cost is described. Supporting this dynamic packing method, a new method to shrink geometry based on vertex translation, interweaved with retriangulation, is suggested. The shrinking method requires neither tetrahedralization nor calculation of medial axis and it preserves the topology of the geometry, i.e. holes are neither lost nor introduced. The proposed methods are successfully applied on industrial geometries.

Keywords: Dynamic packing, path planning, shrinking.



FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES

Miloš Šeda

Institute of Automation and Computer Science, Faculty of Mechanical Engineering, Brno
University of Technology, Czech Republic

Abstract:

Resource-constrained project scheduling is an NP-hard optimisation problem. There are many different heuristic strategies how to shift activities in time when resource requirements exceed their available amounts. These strategies are frequently based on priorities of activities. In this paper, we assume that a suitable heuristic has been chosen to decide which activities should be performed immediately and which should be postponed and investigate the resource-constrained project scheduling problem (RCPSP) from the implementation point of view. We propose an efficient routine that, instead of shifting the activities, extends their duration. It makes it possible to break down their duration into active and sleeping subintervals. Then we can apply the classical Critical Path Method that needs only polynomial running time. This algorithm can simply be adapted for multiproject scheduling with limited resources.

Keywords: Project management, resource-constrained scheduling, NP-hard problem, CPM, heuristic method.



INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES

Roozbeh Keshmiri, Alireza Mohamad Shahri

Electronic Research Center, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran,
16844, Iran

Abstract:

Fuzzy controllers are potential candidates for the control of nonlinear, time variant and also complicated systems. Anti lock brake system (ABS) which is a nonlinear system, may not be easily controlled by classical control methods. An intelligent Fuzzy control method is very useful for this kind of nonlinear system. A typical antilock brake system (ABS) by sensing the wheel lockup, releases the brakes for a short period of time, and then reapplies again the brakes when the wheel spins up. In this paper, an intelligent fuzzy ABS controller is designed to adjust slipping performance for variety of roads. There are tow major sections in the proposing control system. First section consists of tow Fuzzy-Logic Controllers (FLC) providing optimal brake torque for both front and rear wheels. Second section which is also a FLC provides required amount of slip and torque references properties for different kind of roads. Simulation results of our proposed intelligent ABS for three different kinds of road show more reliable and better performance in compare with two other break systems.

Keywords: Fuzzy Logic Control, ABS, Anti lock BrakingSystem.

IMMUNOGENIC RESPONSE OF OUTER MEMBRANE PROTEINS OF VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS ON GROUPER (EPINEPHELUS FUSCOGUTTATUS)

Liang Wei Chen

Faculty of Marine Biology, Shanghai Ocean University, China

Abstract

Vibrio parahaemolyticus is a pathogenic bacterium causing significant morbidity in marine aquaculture, notably affecting grouper species (*Epinephelus fuscoguttatus*). This study characterizes the immunogenic properties of outer membrane proteins (OMPs) of *V. parahaemolyticus*, aiming to evaluate their potential as vaccine candidates to enhance grouper immune defenses. The OMPs were isolated, purified, and subjected to immunological assays in controlled experimental infections. Results showed that these proteins elicit robust immunogenic responses, inducing specific antibody production and increased survival rates among challenged fish. Furthermore, the structural and antigenic analyses support the feasibility of developing OMP-based immunoprophylactic strategies in grouper aquaculture. These findings contribute to improved disease management and sustainable aquaculture practices.

Keywords: *Vibrio parahaemolyticus*, outer membrane proteins, immunogenicity, grouper, aquaculture vaccines



CHARACTERIZATION AND ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE ENZYMES FROM ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED IN TROPICAL FORESTS

Maria Fernanda López

Diego Rafael Oliveira

Department of Biotechnology, University of São Paulo, Brazil

Abstract

Cellulase enzymes are crucial biocatalysts extensively utilized in industrial applications such as biofuel production and waste management. This research focuses on the isolation and characterization of cellulase-producing endophytic fungi from tropical forest ecosystems, followed by the optimization of enzyme production through fermentation process refinements. Molecular and biochemical analyses confirmed the strains' identities and their cellulolytic capabilities under varied environmental conditions. Enhanced production was achieved using optimized substrates and culture parameters, resulting in increased enzyme yield and activity. The study provides insights into exploiting natural fungal biodiversity for sustainable biotechnology applications, promoting efficient cellulose degradation and valorization of lignocellulosic biomass.

Keywords: cellulase, endophytic fungi, tropical forests, enzyme production, biotechnology



SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM LEAF AND NODE EXPLANTS OF BLUE DAISY (FELICIA AMELLOIDES)

Anoma Perera Wijesinghe

Department of Microbiology, University of Karachi, Pakistan

Abstract

Somatic embryogenesis is a pivotal technique for the clonal propagation and genetic improvement of ornamental plants. This study investigates the induction of somatic embryos from leaf and node explants of Blue Daisy (*Felicia amelloides*), an economically valuable ornamental species. Various culture media compositions and plant growth regulator concentrations were tested to optimize embryogenic response and developmental stages. Successful somatic embryo formation was observed, with significant differences between explant types regarding induction frequency and embryo maturation. The regenerated plants exhibited normal morphology and vigorous growth. These findings have important implications for large-scale propagation and conservation of *Felicia amelloides* through tissue culture techniques.

Keywords: somatic embryogenesis, *Felicia amelloides*, plant tissue culture, clonal propagation, ornamental plants



STRUCTURAL INSIGHTS INTO THE RESISTANCE OF CAMPYLOBACTER JEJUNI CHAPERONE PROTEINS TO ANTIMICROBIAL PEPTIDES

Dr. Sadia Rahman

Department of Microbiology, University of Karachi, Pakistan

Abstract

Campylobacter jejuni, a leading cause of bacterial gastroenteritis, exhibits resistance to host antimicrobial peptides (AMPs), complicating infection control. This study elucidates structural mechanisms underlying the resistance of *C. jejuni* chaperone proteins to AMPs by integrating crystallography and molecular dynamics simulations. Findings reveal conformational adaptations and binding pockets that neutralize antimicrobial activity, offering a molecular basis for pathogen survival in hostile environments. Such knowledge aids in designing novel therapeutic agents targeting these protective chaperones, ultimately contributing to effective treatment strategies against Campylobacter infections.

Keywords: Campylobacter jejuni, chaperone proteins, antimicrobial peptides, structural biology, bacterial resistance



MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN AEROBIC WASTEWATER BIOREACTORS

Supaporn Kittipong

Nattapol Jirasaku

Department of Environmental Science, Kasetsart University, Thailand

Abstract

Effective nitrogen removal in wastewater treatment heavily relies on ammonia-oxidizing microorganisms. This study characterizes the community structure of ammonia-oxidizing archaea (AOA) and bacteria (AOB) within aerobic bioreactors using high-throughput sequencing and quantitative PCR methods. Community composition dynamics under varying operational conditions were analyzed, revealing dominant taxa associated with process efficiency. The balance between AOA and AOB populations directly influences nitrification performance, with implications for optimizing bioreactor design and operation. This research enhances the understanding of microbial ecology in engineered ecosystems, offering pathways to improve wastewater nitrogen removal.

Keywords: ammonia-oxidizing archaea, ammonia-oxidizing bacteria, wastewater treatment, microbial community, nitrification



SYNTHETIC ELASTIN-BASED COATINGS AS A BIOMIMETIC PLATFORM FOR ENHANCED CELL ADHESION

Assoc. Prof. Dr. Giulia Romano

Department of Environmental Science, Kasetsart University, Thailand

Abstract

Development of biomimetic surfaces is critical for advancing tissue engineering and implant integration. This study investigates synthetic elastin-like polymer coatings as platforms to enhance cell adhesion, proliferation, and differentiation. Characterization of coating physicochemical properties and their influence on cellular responses using fibroblasts and stem cells revealed significant improvements over traditional substrates. The elastin-mimetic design offers flexibility and biocompatibility, fostering favorable cell-material interactions. These findings support the use of elastin-based coatings in biomedical device fabrication and regenerative medicine applications.

Keywords: elastin-based coatings, biomimetics, cell adhesion, tissue engineering, biomedical materials



NEW RECORD OF PARASITE-HOST INTERACTIONS OF DIPLOSTOMUM SPATHACEUM IN ZARAFSHAN RIVER (CENTRAL UZBEKISTAN)

Dr. Niloufar Esmailova

Department of Zoology, Tashkent State University, Uzbekistan

Abstract

Diplostomum spathaceum is a parasitic trematode affecting fish species with implications for aquaculture and freshwater ecosystems. This study documents previously unreported host-parasite interactions within the Zarafshan River ecosystem in Central Uzbekistan. Through parasitological surveys and molecular identification, new fish host species were identified, expanding knowledge of the parasite's distribution and life cycle. The ecological significance of these findings is discussed concerning fish health and management strategies in the region. This research enhances understanding of biodiversity and host dynamics, contributing to aquatic parasitology and conservation biology.

Keywords: Diplostomum spathaceum, parasite-host interaction, fish parasites, Zarafshan River, freshwater ecology

ADVANCES IN QUANTUM ALGORITHMS: SECURITY CHALLENGES AND ETHICAL IMPLICATIONS IN THE QUANTUM COMPUTING ERA

John Smith

Department of Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, USA

Fatima Al-Harbi

Department of Electrical Engineering, King Abdulaziz University, Saudi Arabia

Omar Khalid

Faculty of Engineering, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

Quantum computing represents a paradigm shift in computational capabilities, promising unprecedented processing power through quantum algorithms. This paper provides a comprehensive overview of recent advances in quantum algorithms, emphasizing their potential to solve complex problems faster than classical counterparts. However, these advances bring significant security challenges, particularly in cryptography, where quantum algorithms threaten to break widely used encryption schemes such as RSA and ECC. The paper explores the implications of quantum computing on data security, privacy, and the integrity of digital communications. Furthermore, it discusses ethical considerations related to the deployment of quantum technologies, including issues of equitable access, potential misuse, and the need for robust regulatory frameworks. The authors analyze current efforts in developing post-quantum cryptography to safeguard information in the quantum era. Additionally, the paper highlights the interdisciplinary nature of these challenges, calling for collaboration between computer scientists, ethicists, policymakers, and industry stakeholders. Case studies illustrate both the opportunities and risks associated with quantum advancements. Ultimately, the paper argues for proactive measures to address security vulnerabilities and ethical dilemmas to ensure that quantum computing benefits society while minimizing harm.

Keywords: Quantum algorithms, cybersecurity, cryptography, ethical implications, quantum computing

ECO-FRIENDLY ADSORPTION TECHNIQUES FOR WATER POLLUTANT REMOVAL USING NANOCOMPOSITES: SYNTHESIS AND PERFORMANCE OPTIMIZATION

Amira Benali

Department of Chemical Engineering, University of Casablanca, Morocco

Dr. Youssef El Fassi

Institute of Environmental Sciences, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

Water pollution poses a critical threat to environmental sustainability and public health worldwide. This study investigates eco-friendly adsorption techniques employing nanocomposites for the efficient removal of water pollutants. The research focuses on the synthesis of novel nanocomposite materials combining metal oxides and carbon-based substrates, aiming to enhance adsorption capacity and selectivity. Various synthesis methods, including sol-gel and hydrothermal techniques, were optimized to produce nanomaterials with high surface area and stability. Performance evaluations were conducted using contaminated water samples with heavy metals, dyes, and organic pollutants. Results demonstrate significant improvements in adsorption efficiency compared to conventional adsorbents, with rapid kinetics and excellent reusability. The study also examines the mechanisms underlying pollutant capture, supported by characterization techniques such as SEM, XRD, and FTIR. Environmental impact assessments confirm the sustainability of these nanocomposites, highlighting their potential for large-scale application in wastewater treatment. Challenges related to scalability, cost, and regeneration are discussed, alongside recommendations for future research. This paper contributes to advancing green technologies for water purification, aligning with global efforts to achieve clean water and sanitation goals.

Keywords: Water pollution, nanocomposites, adsorption, eco-friendly technology, wastewater treatment

ENHANCING GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES

Nadia Bouziane

Renewable Energy Department, University of Algiers, Algeria

Karim El Mansouri

Department of Chemical Engineering, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

Green hydrogen is emerging as a vital clean energy carrier essential for decarbonizing various sectors. This paper explores biomass gasification technologies as a sustainable pathway to enhance green hydrogen production. The study reviews different gasification methods, including fixed-bed, fluidized-bed, and entrained-flow reactors, with a focus on their efficiency, feedstock flexibility, and environmental impact. Experimental data and simulation models are used to optimize operational parameters such as temperature, pressure, and biomass composition to maximize hydrogen yield. The integration of gas cleaning and separation technologies is analyzed to improve hydrogen purity and process viability. The paper also discusses economic and policy factors influencing the adoption of biomass-based hydrogen production in North Africa. Challenges such as feedstock availability, tar formation, and scaling are addressed. The authors conclude that biomass gasification presents a promising, renewable alternative to fossil-based hydrogen, contributing to energy transition and climate goals. Recommendations include further research on catalyst development and system integration to enhance process sustainability and commercial feasibility.

Keywords: Green hydrogen, biomass gasification, renewable energy, hydrogen production, sustainable technology

SPATIAL MODELING OF SOIL EROSION IMPACTS ON WATER REGULATION IN THE HIGH ATLAS REGION

Laila Bensalem

Department of Environmental Science, Cadi Ayyad University, Morocco

Rachid El Amrani

Institute of Geography, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

Soil erosion significantly affects water regulation and ecosystem services, particularly in mountainous regions like the High Atlas. This study employs spatial modeling techniques to assess the impact of soil erosion on water retention and runoff patterns in this ecologically sensitive area. Using GIS and remote sensing data, soil erosion susceptibility maps were generated based on factors such as slope, land cover, rainfall intensity, and soil type. Hydrological models were integrated to simulate changes in water regulation services under various erosion scenarios. The results reveal critical zones where erosion severely compromises water availability and quality, threatening agriculture and local livelihoods. The study highlights the importance of sustainable land management practices and reforestation efforts to mitigate erosion effects. Policy implications are discussed, emphasizing the need for targeted interventions and community engagement in conservation. This research provides valuable insights for environmental planners and decision-makers aiming to preserve water resources and ecological balance in the High Atlas region.

Keywords: Soil erosion, water regulation, spatial modeling, GIS, High Atlas

DEEP LEARNING-BASED TRAFFIC SIGN RECOGNITION UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Ahmed Benali

Department of Computer Engineering, University of Rabat, Morocco

Yassine El Khatib

Faculty of Engineering, University of Marrakech, Morocco

Sara Alami

Department of Artificial Intelligence, Mohammed VI Polytechnic University, Morocco

ABSTRACT

Accurate traffic sign recognition is crucial for the safety and efficiency of autonomous vehicles and advanced driver-assistance systems (ADAS). This paper presents a deep learning-based approach to traffic sign recognition that performs robustly under variable environmental conditions such as rain, fog, and low light. The proposed convolutional neural network (CNN) architecture is trained on an extensive dataset augmented with synthetic environmental distortions to improve generalization. Experimental results demonstrate high accuracy and real-time processing capability, outperforming traditional computer vision methods. The study also evaluates the model's resilience to occlusions and partial visibility. Additionally, the paper discusses the integration of this recognition system into broader vehicular networks and its potential impact on traffic safety. Challenges related to dataset diversity and computational efficiency are addressed, with suggestions for future improvements. The research contributes to advancing intelligent transportation systems and promoting safer road environments.

Keywords: Traffic sign recognition, deep learning, convolutional neural networks, autonomous vehicles, environmental robustness

DC BUS VOLTAGE CONTROL AND POWER FACTOR IMPROVEMENT USING BIDIRECTIONAL CONVERTERS

Chinedu Okafor

Department of Electrical Engineering, University of Lagos, Nigeria

Amina Yusuf

Faculty of Engineering, Ahmadu Bello University, Nigeria

Emeka Nwosu

Department of Power Systems, University of Nigeria, Nsukka

ABSTRACT

This paper investigates the application of bidirectional converters for DC bus voltage control and power factor improvement in power electronic systems. The study presents a control strategy that enables efficient energy flow between DC and AC sides, stabilizing voltage levels and enhancing power quality. Simulation models demonstrate the effectiveness of the proposed approach in reducing voltage fluctuations and reactive power consumption under varying load conditions. Experimental validation using a prototype system confirms the theoretical findings. The paper discusses the implications for renewable energy integration, electric vehicles, and smart grid applications where stable DC bus voltage and high power factor are critical. Challenges such as converter losses, control complexity, and system scalability are analyzed. The research offers valuable insights for engineers designing advanced power conversion systems aimed at improving energy efficiency and grid stability.

Keywords: Bidirectional converters, DC bus voltage, power factor correction, power electronics, renewable energy

OPTIMIZING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Moses Umiaghe

Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Benin, Nigeria

Chika Obi

Faculty of Engineering, Nnamdi Azikiwe University, Nigeria

ABSTRACT

Wireless power transfer (WPT) technology is gaining traction in industrial applications due to its potential to enhance operational flexibility and reduce maintenance costs. This paper focuses on optimizing WPT systems for industrial environments, addressing challenges such as power loss, electromagnetic interference, and alignment issues. Various WPT techniques, including inductive coupling and resonant magnetic coupling, are evaluated for efficiency and reliability. The study employs simulation and experimental setups to analyze system performance under different load conditions and distances. Results indicate that optimized coil design, frequency tuning, and adaptive control strategies significantly improve power transfer efficiency. The paper also explores integration with industrial automation systems and safety considerations. Recommendations for future research include exploring hybrid WPT systems and materials innovation to further enhance performance. This work contributes to advancing WPT adoption in manufacturing, logistics, and robotics sectors.

Keywords: Wireless power transfer, industrial applications, power efficiency, electromagnetic compatibility, system optimization



BRIDGING THE SKILLS GAP IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS EDUCATION FOR INDUSTRY READINESS IN RIVERS STATE

Ngozi Eze

Department of Technical Education, Rivers State University, Nigeria

Emeka Okeke

Faculty of Engineering, University of Port Harcourt, Nigeria

ABSTRACT

The rapid technological advancements in electrical and electronics industries demand a workforce equipped with relevant skills and competencies. This paper examines the existing skills gap in electrical and electronics education in Rivers State, Nigeria, and proposes strategies to enhance industry readiness among graduates. Through surveys and interviews with educators, students, and industry stakeholders, the study identifies deficiencies in curriculum content, practical training, and industry-academia collaboration. It highlights the mismatch between academic preparation and industry expectations, which hampers employability and productivity. The research advocates for curriculum modernization incorporating emerging technologies, increased hands-on learning opportunities, and strengthened partnerships with industry players. Additionally, it emphasizes the role of government policies and funding in supporting educational reforms. Case studies of successful initiatives are presented to illustrate best practices. The paper concludes that addressing the skills gap is essential for economic growth and technological innovation in Rivers State and beyond.

Keywords: Skills gap, electrical education, industry readiness, curriculum development, Nigeria

OPTIMIZATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATIONS

Ahmed El-Sayed

Department of Renewable Energy, Cairo University, Egypt

Fatima Hassan

Department of Electrical Engineering, Cairo University, Egypt

Omar Khalil

Department of Mechanical Engineering, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

The growing demand for sustainable and efficient energy solutions has intensified research into optimizing solar energy harvesting systems. This study presents a comprehensive approach to enhancing the performance of photovoltaic (PV) systems by employing Monte Carlo simulations to model and optimize energy capture under varying environmental conditions. The purpose of this research is to develop a robust simulation framework that accounts for stochastic variations in solar irradiance, temperature, and panel orientation to predict system output more accurately. The methodology involves generating numerous random samples of environmental parameters and simulating their impact on the PV system's energy yield. Results indicate that Monte Carlo simulations provide significant insights into the probabilistic performance of solar panels, allowing for the identification of optimal configurations that maximize energy harvesting efficiency. The study also compares traditional deterministic models with the stochastic approach, demonstrating improved accuracy and reliability in system design. Furthermore, sensitivity analyses reveal key factors influencing system performance, guiding future engineering improvements. The conclusions emphasize the importance of incorporating uncertainty and variability into solar energy system design to enhance resilience and output. This research contributes to the field by offering a practical tool for engineers and policymakers aiming to implement more efficient solar energy solutions in diverse climatic regions.

Keywords: solar energy, Monte Carlo simulations, photovoltaic optimization, renewable energy, stochastic modeling

REMOTE SENSING-BASED SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN CASABLANCA (MOROCCO): ENVIRONMENTAL IMPACTS

Nadia Benali

Department of Geography, Mohammed V University, Morocco

Youssef El-Mahdi

Department of Environmental Science, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

Urban expansion in rapidly growing cities poses significant environmental challenges, particularly in coastal regions like Casablanca, Morocco. This research employs remote sensing techniques combined with spatio-temporal analysis to investigate the patterns and environmental impacts of urban growth over the past two decades. The study's objective is to quantify urban sprawl, identify hotspots of expansion, and assess associated effects on land use, vegetation cover, and local ecosystems. Satellite imagery from multiple time points was processed and analyzed using Geographic Information Systems (GIS) to map changes in urban footprint and natural habitats. Results reveal a marked increase in built-up areas, often encroaching on agricultural lands and green spaces, leading to habitat fragmentation and increased surface temperatures. The analysis highlights critical zones where urbanization pressures threaten biodiversity and exacerbate environmental degradation. The study also discusses implications for urban planning and sustainable development, emphasizing the need for integrated policies that balance growth with environmental conservation. By providing a detailed spatial and temporal perspective, this research offers valuable insights for decision-makers aiming to mitigate negative environmental consequences of urbanization in Casablanca and similar contexts worldwide.

Keywords: urban expansion, remote sensing, spatio-temporal analysis, environmental impact, Casablanca

EVALUATION OF GAMMA-RAY AND NEUTRON DISCRIMINATION TECHNIQUES IN SCINTILLATION DETECTORS

John O. Adeyemi

Department of Physics, University of Lagos, Nigeria

Chinedu Nwosu

Department of Nuclear Engineering, University of Lagos, Nigeria

Amina Yusuf

Department of Applied Physics, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Effective discrimination between gamma rays and neutrons is critical for applications in nuclear safety, medical imaging, and radiation detection. This study evaluates various discrimination techniques applied to scintillation detectors, focusing on their accuracy, efficiency, and practical implementation. The research aims to compare pulse shape discrimination (PSD), time-of-flight (TOF), and digital signal processing methods under controlled experimental conditions. Using a series of calibrated gamma and neutron sources, detector responses were recorded and analyzed to assess the ability of each technique to correctly identify radiation types. Results demonstrate that PSD methods offer high discrimination capability with relatively simple hardware requirements, while TOF provides superior accuracy but demands more complex instrumentation. Digital signal processing techniques show promise for real-time applications due to their flexibility and adaptability. The study also investigates the influence of detector material properties and electronic noise on discrimination performance. Conclusions highlight the trade-offs between accuracy, complexity, and cost, recommending specific techniques based on application needs. This research advances the understanding of scintillation detector optimization and supports the development of more reliable radiation detection systems.

Keywords: gamma-ray discrimination, neutron detection, scintillation detectors, pulse shape discrimination, radiation safety

MATHEMATICAL MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN HUMAN CIRCULATORY SYSTEM*i*

Chinedu Nwosu

Department of Biomedical Engineering, University of Lagos, Nigeria

Amina Yusuf

Department of Applied Mathematics, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Oxygen transport within the human circulatory system is a complex physiological process essential for cellular metabolism and overall health. This paper develops a detailed mathematical model to simulate oxygen delivery and consumption dynamics in blood flow through arteries, veins, and capillaries. The objective is to provide a quantitative framework that captures the interaction between oxygen diffusion, hemoglobin binding, and tissue uptake under various physiological conditions. The model incorporates differential equations describing convective transport, diffusion gradients, and biochemical reactions, solved using numerical methods. Validation is performed by comparing simulation results with experimental data from clinical studies. The findings reveal critical factors affecting oxygen availability, such as blood flow velocity, vessel geometry, and metabolic demand. Sensitivity analyses identify parameters that significantly influence oxygen transport efficiency, offering insights into pathological states like hypoxia and ischemia. The study's conclusions underscore the model's potential as a tool for medical research, diagnosis, and treatment planning, particularly in cardiovascular and respiratory disorders. By integrating physiological complexity with mathematical rigor, this work contributes to advancing computational medicine and personalized healthcare.

Keywords: oxygen transport, circulatory system, mathematical modeling, biomedical engineering, numerical simulation

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO WOOD NANOFIBERS AND THEIR PHOTODEGRADATION EFFECTS ON DYES

Sara El-Mansouri

Department of Chemical Engineering, Hassan II University, Morocco

Rachid Bennis

Department of Materials Science, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

Nanofibers derived from bamboo wood represent a promising class of sustainable materials with potential applications in environmental remediation. This study focuses on the synthesis of bamboo wood nanofibers (BWNs) and investigates their photodegradation effects on organic dyes commonly found in industrial wastewater. The objective is to develop eco-friendly nanomaterials capable of enhancing dye degradation under light exposure. BWNs were extracted using chemical and mechanical treatments and characterized through scanning electron microscopy (SEM), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and X-ray diffraction (XRD) to determine their morphology and chemical properties. Photodegradation experiments were conducted by exposing dye solutions mixed with BWNs to simulated sunlight, monitoring dye concentration changes via UV-Vis spectroscopy. Results indicate that BWNs significantly accelerate dye breakdown compared to control samples, attributed to their high surface area and photocatalytic activity. The study also examines the influence of pH, nanofiber concentration, and light intensity on degradation efficiency. Findings suggest that bamboo nanofibers offer a sustainable and effective approach for wastewater treatment, reducing environmental pollution. The research contributes to the development of green nanotechnology and supports the valorization of bamboo as a renewable resource.

Keywords: bamboo nanofibers, photodegradation, wastewater treatment, dye removal, sustainable materials

EXPERIMENTAL AND PROBABILISTIC STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D-PRINTED CONDUCTIVE POLYMERS

Olufemi Adewale

Department of Mechanical Engineering, University of Ibadan, Nigeria

Kemi Olatunji

Department of Materials Science, University of Ibadan, Nigeria

ABSTRACT

The advent of 3D printing technology has opened new avenues for fabricating conductive polymers with tailored mechanical properties for electronic and structural applications. This study presents an experimental and probabilistic investigation into the mechanical behavior of 3D-printed conductive polymer composites. The research aims to characterize tensile strength, elasticity, and durability under varying printing parameters and environmental conditions. Specimens were fabricated using fused deposition modeling (FDM) with different polymer blends and conductive fillers. Mechanical tests, including tensile and flexural assessments, were performed following standardized protocols. Statistical methods were applied to analyze variability and predict performance reliability. Results reveal that printing orientation, filler concentration, and post-processing significantly affect mechanical properties. Probabilistic models developed in the study enable prediction of failure probabilities under different stress scenarios, providing valuable information for design optimization. The conclusions emphasize the importance of integrating experimental data with probabilistic analysis to enhance the reliability of 3D-printed conductive materials. This research supports the advancement of additive manufacturing in producing functional and durable polymer components for diverse industrial uses.

Keywords: 3D printing, conductive polymers, mechanical properties, probabilistic modeling, additive manufacturing

ANALYSIS OF LAST-MILE TRANSPORTATION ISSUES FACED BY AIRPORT PASSENGERS IN NIGERIA

Kehinde Azeezat Shodipo

Department of Transport Studies, University of Lagos, Nigeria

Abdul-Rahman Taiwo Ajala

Department of Urban Planning, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Last-mile transportation remains a critical challenge for airport passengers in Nigeria, impacting travel efficiency, comfort, and overall satisfaction. This study investigates the specific issues faced by travelers during the final leg of their airport journeys, including accessibility, availability, cost, and safety of transport options. The research employs surveys and interviews with passengers at major Nigerian airports to collect qualitative and quantitative data on travel patterns and preferences. Geographic information system (GIS) tools are used to map transport networks and identify service gaps. Findings indicate significant deficiencies in public transport connectivity, inadequate infrastructure, and high reliance on informal transport modes. The study also explores the socio-economic factors influencing passenger choices and the implications for airport accessibility. Recommendations include improving multimodal integration, enhancing regulatory frameworks, and investing in infrastructure development to facilitate smoother last-mile connections. The paper contributes to transportation planning literature by highlighting context-specific challenges in developing countries and proposing practical solutions to improve passenger experience and urban mobility.

Keywords: last-mile transportation, airport passengers, Nigeria, transport accessibility, urban mobility

QUANTUM ENTANGLEMENT AND THE EXPANDING COSMOS: A THEORETICAL EXPLORATION

Amit Sharma

Department of Physics, Indian Institute of Science, Bangalore, India

ABSTRACT

This paper presents a theoretical exploration of the relationship between quantum entanglement and the expanding universe, aiming to deepen understanding of fundamental physical phenomena. Quantum entanglement, a non-local correlation between particles, challenges classical notions of space and time, while cosmological expansion describes the large-scale dynamics of the universe. The study investigates how entangled states might evolve in an expanding spacetime framework, employing advanced quantum field theory and general relativity models. It addresses key questions about information transfer, causality, and the role of entanglement in cosmic evolution. By analyzing mathematical formulations and thought experiments, the research reveals potential implications for black hole physics, dark energy, and the holographic principle. The findings suggest that entanglement could play a significant role in the fabric of spacetime, influencing the universe's accelerated expansion and structure formation. This theoretical work contributes to bridging quantum mechanics and cosmology, offering new perspectives for future experimental and observational studies. It also highlights challenges in unifying quantum theory with gravitational phenomena, emphasizing the need for interdisciplinary approaches. The paper concludes that understanding entanglement in cosmological contexts may unlock deeper insights into the universe's origin, behavior, and ultimate fate.

Keywords: quantum entanglement, cosmology, expanding universe, quantum field theory

MICROWAVE-ASSISTED SYNTHESIS AND ANALYSIS OF CARBON NANOTUBES FROM AGRICULTURAL WASTE

Laila Hassan

Department of Chemical Engineering, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This study explores an innovative, eco-friendly method for synthesizing carbon nanotubes (CNTs) using microwave-assisted pyrolysis of agricultural waste. The research aims to develop sustainable nanomaterials by valorizing biomass residues, reducing environmental impact, and lowering production costs. Experimental procedures involved subjecting various agricultural wastes, including rice husks and sugarcane bagasse, to microwave irradiation under controlled conditions. Characterization techniques such as scanning electron microscopy, Raman spectroscopy, and X-ray diffraction were employed to analyze the morphology, structure, and purity of the synthesized CNTs. Results demonstrated that microwave-assisted synthesis significantly reduces reaction time and energy consumption compared to conventional methods while producing high-quality CNTs with desirable properties. The study also investigates the influence of process parameters like microwave power, reaction time, and catalyst presence on yield and nanotube characteristics. The findings highlight the potential of this approach for scalable, cost-effective production of CNTs suitable for applications in electronics, energy storage, and environmental remediation. This work contributes to advancing green nanotechnology and offers a promising pathway for converting agricultural waste into valuable nanomaterials, supporting circular economy principles.

Keywords: carbon nanotubes, microwave synthesis, agricultural waste, green nanotechnology

DEVELOPMENT OF MAGNETIC SILICA-CHITOSAN NANOCOMPOSITES FOR EFFICIENT WASTEWATER REMEDIATION

Fatima Yusuf, Ahmed Khan, Sara Malik

Department of Environmental Science, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

This research focuses on the synthesis and application of magnetic silica-chitosan nanocomposites designed for efficient removal of heavy metals and organic pollutants from wastewater. The study addresses the urgent need for effective, low-cost, and environmentally friendly water treatment technologies amid growing global water pollution challenges. The nanocomposites were synthesized via co-precipitation and sol-gel methods, combining magnetic nanoparticles with biopolymer chitosan and silica matrix to enhance adsorption capacity and facilitate magnetic separation. Comprehensive characterization using Fourier-transform infrared spectroscopy, transmission electron microscopy, and vibrating sample magnetometry confirmed the structural and magnetic properties of the composites. Batch adsorption experiments evaluated the removal efficiency for contaminants such as lead, cadmium, and dyes under varying pH, concentration, and contact time. Results indicated high adsorption capacities and rapid pollutant uptake, with easy recovery of nanocomposites using external magnetic fields. The study also assessed reusability and stability over multiple cycles, demonstrating promising potential for practical wastewater treatment applications. This work contributes to developing sustainable nanomaterials for environmental remediation, combining high performance with operational simplicity and environmental safety.

Keywords: wastewater remediation, magnetic nanocomposites, chitosan, heavy metal adsorption

ENHANCED ITERATIVE METHODS FOR SOLVING ELLIPTIC PDES: A NOVEL PARAMETRIC APPROACH

Chinedu Okafor, Amina Bello
Department of Mathematics, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

This paper proposes a novel parametric approach to enhance iterative methods for solving elliptic partial differential equations (PDEs), which are fundamental in modeling steady-state physical phenomena. The research aims to improve convergence rates and computational efficiency of classical iterative solvers such as Jacobi and Gauss-Seidel methods. By introducing adaptive parameter tuning based on spectral radius analysis and error estimation, the approach dynamically adjusts relaxation factors to optimize performance. Numerical experiments on benchmark elliptic PDE problems demonstrate significant acceleration in convergence compared to fixed-parameter methods. The study also explores the robustness of the proposed technique under varying boundary conditions and mesh discretizations. Theoretical analysis supports the observed improvements, providing insights into stability and error bounds. This enhanced iterative framework offers practical benefits for large-scale scientific computing applications in engineering, physics, and applied mathematics. The paper concludes by discussing potential extensions to nonlinear PDEs and integration with multigrid methods, suggesting a promising direction for future research in numerical analysis.

Keywords: elliptic partial differential equations, iterative methods, parametric approach, numerical analysis

FIRST-PRINCIPLES COMPUTATIONAL STUDY OF SR-BASED HYDRIDE PEROVSKITES FOR HYDROGEN STORAGE

Yousef Al-Mansouri, Layla Rahimi

Department of Materials Science, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia

ABSTRACT

This computational study investigates strontium-based hydride perovskites as potential materials for hydrogen storage, a critical technology for clean energy applications. Using first-principles density functional theory calculations, the research examines structural stability, electronic properties, and hydrogen adsorption/desorption mechanisms of Sr-based perovskite compounds. The study aims to identify materials with high hydrogen storage capacity, favorable thermodynamics, and reversible absorption characteristics. Results reveal that specific Sr-hydride perovskites exhibit suitable band gaps and binding energies, indicating efficient hydrogen uptake and release under moderate conditions. Charge density analysis and phonon dispersion calculations provide insights into bonding nature and material stability. The findings suggest that these materials could serve as promising candidates for solid-state hydrogen storage, contributing to the development of sustainable energy systems. The paper discusses the implications for material design and highlights future experimental validation needs. This work advances the understanding of hydride perovskites' potential in addressing energy storage challenges.

Keywords: hydrogen storage, perovskites, first-principles calculations, clean energy

THE INTERPLAY OF SPORTS AND POPULAR CULTURE: HISTORICAL PERSPECTIVES AND CONTEMPORARY INSIGHTS

Reza Farhadi, Neda Karimi

Department of Sociology, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

This interdisciplinary study explores the dynamic relationship between sports and popular culture, tracing historical developments and examining contemporary manifestations. It investigates how sports both shape and are shaped by cultural trends, social identities, and media representations. The research analyzes key moments where sports have intersected with music, fashion, politics, and social movements, highlighting their role as a site of cultural expression and contestation. Using qualitative content analysis and historical review, the study reveals how athletes become cultural icons, influencing societal values and consumer behavior. It also discusses the commercialization of sports and its impact on authenticity and community engagement. Contemporary insights focus on digital media's role in transforming fan experiences and globalizing sports culture. The paper argues that understanding this interplay is essential for comprehending broader social dynamics and cultural change. It contributes to cultural sociology by offering a nuanced perspective on sports as a powerful cultural institution.

Keywords: sports culture, popular culture, media studies, cultural sociology

PRE-SERVICE TEACHERS' PERCEPTIONS AND MOTIVATIONS TOWARD AI INTEGRATION IN PHYSICS EDUCATION

Halima Ibrahim, Musa Abdullahi

Department of Science Education, Ahmadu Bello University, Nigeria

ABSTRACT

This study investigates pre-service physics teachers' perceptions and motivations regarding the integration of artificial intelligence (AI) technologies in physics education. Recognizing AI's growing influence in educational contexts, the research aims to understand future educators' readiness and attitudes toward adopting AI tools for teaching complex scientific concepts. Data were collected through surveys and focus groups involving pre-service teachers enrolled in Nigerian universities. Findings indicate a generally positive attitude toward AI integration, driven by expectations of enhanced student engagement, personalized learning, and improved instructional efficiency. However, concerns about technological accessibility, training adequacy, and ethical considerations were also expressed. The study highlights the importance of incorporating AI-focused training in teacher education programs to build confidence and competence. It recommends policy support and resource allocation to facilitate effective AI adoption in physics classrooms. This research contributes to the growing discourse on technology-enhanced education and teacher preparedness in developing countries.

Keywords: artificial intelligence, physics education, teacher perceptions, pre-service teachers

VIRTUAL LABORATORIES IN SCIENCE EDUCATION: IMPACT ON TEACHERS' USABILITY PERCEPTIONS AND STUDENT SKILL DEVELOPMENT

Amina Bello, Ibrahim Musa

Department of Educational Technology, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

This paper examines the impact of virtual laboratories on science education, focusing on teachers' usability perceptions and students' skill development. Virtual labs offer interactive, simulated environments that overcome limitations of physical labs, such as cost and safety concerns. The study employs mixed methods, including surveys and performance assessments, involving secondary school science teachers and students in Lagos. Results show that teachers generally perceive virtual labs as user-friendly and effective for enhancing conceptual understanding and practical skills. Students demonstrated improved experimental design, data analysis, and critical thinking abilities after using virtual labs. Challenges identified include technical issues, limited internet access, and the need for professional development. The research underscores the potential of virtual labs to democratize science education and foster 21st-century skills. Recommendations include integrating virtual labs into curricula and investing in infrastructure and teacher training to maximize benefits. This work supports the growing adoption of digital tools in education, particularly in resource-constrained settings.

Keywords: virtual laboratories, science education, teacher usability, skill development

PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Maria Petrova

Department of Industrial Psychology, Technical University of Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

This study investigates the psychological impact of workplace stressors on project outcomes within the construction industry, employing a moderated mediation analysis to understand complex relationships among variables. Construction projects are often high-pressure environments characterized by tight deadlines, safety risks, and fluctuating team dynamics, which can negatively affect workers' mental health. The research aims to examine how psychological factors such as stress, job satisfaction, and emotional exhaustion influence project performance, while also exploring the moderating role of organizational support. Data were collected from 350 construction professionals across multiple projects using standardized questionnaires and performance metrics. The analysis reveals that psychological stress significantly mediates the relationship between job demands and project outcomes, with organizational support buffering this effect. Findings suggest that supportive management practices and mental health interventions can improve both employee well-being and project success. The study contributes to construction management literature by highlighting the importance of addressing psychological factors to enhance productivity and reduce turnover. Practical recommendations include implementing stress management programs and fostering positive workplace cultures. This research underscores the critical need for integrating psychological considerations into project planning and execution to achieve sustainable performance in the construction sector.

Keywords: psychological impact, construction industry, project outcomes, organizational support, stress management

YOLOV8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Assoc. Prof. Dr. Sophie Jorio
Department of Civil Engineering, University of Lyon, France

ABSTRACT

The maintenance of road infrastructure is vital for transportation safety and efficiency, with pavement crack detection being a key component. This study presents an automated pavement crack identification system based on the YOLOv8 deep learning model combined with advanced image processing techniques. The objective is to improve the accuracy and speed of crack detection compared to traditional manual inspections, which are time-consuming and subjective. A large dataset of pavement images was collected under varying environmental conditions and annotated for training the model. The YOLOv8 algorithm was optimized to detect cracks of different sizes and types, including longitudinal, transverse, and alligator cracks. Image preprocessing steps such as noise reduction and contrast enhancement were applied to improve detection performance. Experimental results demonstrate that the proposed system achieves high precision and recall rates, outperforming previous models in both accuracy and computational efficiency. The automated approach offers a scalable solution for real-time monitoring and maintenance planning, reducing costs and enhancing road safety. The study also discusses challenges related to lighting variations and surface textures, proposing future improvements for robustness. This research contributes to smart infrastructure management by integrating state-of-the-art AI techniques with practical engineering applications.

Keywords: YOLOv8, pavement crack detection, image processing, deep learning, infrastructure maintenance

THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES

Andrei Popescu

Department of Clinical Psychology, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

The therapeutic couch has long been a symbolic and functional element in psychotherapy, influencing the dynamics between therapist and client. This paper explores the evolving role of the therapeutic couch in modern psychotherapy practices, examining its psychological and relational significance. Drawing on qualitative interviews with psychotherapists and clients, as well as observational studies, the research investigates how the physical setting, including the use of the couch, affects therapeutic alliance, client comfort, and disclosure. The study highlights that while some therapists maintain traditional use of the couch to facilitate free association and reduce eye contact, others adapt or reject it to foster more egalitarian and interactive sessions. The findings suggest that the couch's role is context-dependent and intertwined with therapeutic modality, client preferences, and cultural factors. Additionally, the paper discusses the symbolic meanings attributed to the couch and its impact on transference and countertransference processes. The research contributes to understanding how physical space shapes therapeutic encounters and offers recommendations for flexible use of therapy settings to optimize treatment outcomes. This study emphasizes the importance of therapist awareness of environmental factors as part of holistic psychotherapy practice.

Keywords: therapeutic couch, psychotherapy, therapeutic alliance, clinical psychology, therapy environment

SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES

Dr. Nino Beridze

Department of Environmental Engineering, Tbilisi State University, Georgia

ABSTRACT

Sustainable irrigation is critical for ensuring agricultural productivity while preserving soil integrity and preventing erosion. This study evaluates innovative irrigation methods that integrate anti-erosion measures to enhance water efficiency and soil conservation. The research focuses on drip and sprinkler irrigation systems combined with contour farming, vegetative barriers, and soil cover techniques in diverse climatic zones. Field experiments were conducted over two growing seasons to measure water usage, soil loss, and crop yield under different irrigation and erosion control treatments. Results indicate that combining sustainable irrigation with anti-erosion practices significantly reduces runoff and soil degradation while maintaining or improving crop productivity. The study also assesses economic feasibility and environmental benefits, emphasizing the role of farmer education and policy support in adoption. Challenges such as initial investment costs and maintenance requirements are discussed. This research contributes to sustainable agriculture by providing practical guidelines for integrating water management and soil conservation, promoting long-term land productivity and ecosystem health. The findings support policy initiatives aimed at climate resilience and resource-efficient farming in vulnerable regions.

Keywords: sustainable irrigation, soil erosion, water conservation, agriculture, environmental engineering



EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO₂ ADDITIVES

Ravi Kumar

Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Delhi, India

ABSTRACT

This experimental study investigates the effects of partially replacing cement with black carbon and titanium dioxide (TiO₂) additives on the mechanical properties of concrete. The objective is to enhance concrete strength and durability while reducing environmental impact by lowering cement consumption. Various concrete mixes were prepared with different proportions of black carbon and TiO₂, and subjected to compressive strength, flexural strength, and durability tests over curing periods of 7, 14, and 28 days. Results show that certain replacement levels improve compressive strength and resistance to environmental degradation compared to conventional concrete. The photocatalytic properties of TiO₂ also contribute to self-cleaning and pollution reduction effects. Microstructural analysis reveals improved bonding and reduced porosity in modified mixes. The study discusses optimal additive ratios and potential applications in sustainable construction. Limitations related to workability and cost implications are addressed. This research advances knowledge on eco-friendly concrete materials, offering pathways to greener infrastructure development.

Keywords: concrete strength, black carbon, titanium dioxide, sustainable construction, material additives

ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS

Chinedu Okafor

Department of Environmental Science, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

ABSTRACT

Unregulated solid waste management poses significant environmental and public health risks in rapidly urbanizing areas. This study assesses the impact of informal and poorly managed waste disposal practices in Kaduna urban areas, Nigeria. Using field surveys, waste characterization, and community interviews, the research documents the types, sources, and quantities of solid waste generated, along with disposal methods and their consequences. Findings reveal widespread open dumping, inadequate collection services, and burning of waste, leading to soil, water, and air pollution. The study highlights health issues such as respiratory diseases and vector-borne illnesses linked to poor waste management. It also examines socio-economic factors contributing to the persistence of unregulated practices, including lack of infrastructure, policy enforcement, and public awareness. Recommendations include strengthening municipal waste services, promoting recycling initiatives, and implementing community-based waste management programs. The research underscores the urgent need for integrated solid waste management strategies to improve urban environmental quality and public health in Kaduna and similar contexts.

Keywords: solid waste management, urban pollution, public health, Kaduna, environmental policy

DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES

Dr. Fatima Abiola

Department of Architecture, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Energy-efficient housing design is essential for reducing energy consumption and improving living conditions in low-income communities. This paper explores design strategies tailored to the socio-economic and climatic contexts of such communities, focusing on passive cooling, natural lighting, insulation, and use of locally available materials. The study involves case analyses of existing housing projects and simulations to evaluate thermal performance and energy savings. Results demonstrate that incorporating vernacular architectural elements and innovative low-cost technologies can significantly reduce reliance on mechanical cooling and artificial lighting. The research also addresses challenges such as affordability, cultural acceptance, and scalability. Community engagement and participatory design emerge as critical factors for successful implementation. The paper advocates for policy frameworks that incentivize sustainable housing development and capacity building among local builders. By promoting energy-efficient design, this study contributes to environmental sustainability, economic resilience, and improved quality of life for marginalized populations.

Keywords: energy-efficient housing, low-income communities, sustainable design, passive cooling, architecture

STUDY ON THE MOLECULAR INTERACTIONS OF PYRAZOLINE DERIVATIVES WITH SARS-COV-2 MAIN PROTEASE (Mpro)

Zineb OUAHDI

Hassan EL ALAOUI EL ABDALLAOUI

Amine ZEROUAL

Department of Chemistry, University of Casablanca, Morocco

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic, caused by the SARS-CoV-2 virus, has prompted urgent research into antiviral agents targeting key viral proteins. This study focuses on the molecular interactions between pyrazoline derivatives and the SARS-CoV-2 main protease (Mpro), a critical enzyme for viral replication. Using molecular docking and dynamic simulation techniques, the binding affinity and interaction patterns of various pyrazoline compounds were analyzed to identify potential inhibitors. The results demonstrate that several derivatives exhibit strong binding energies and stable interactions within the active site of Mpro, suggesting their potential as antiviral candidates. Key amino acid residues involved in hydrogen bonding and hydrophobic contacts were identified, providing insights into the molecular basis of inhibition. The study also discusses the structure-activity relationships that influence binding efficacy. These findings contribute to the rational design of novel therapeutics against COVID-19 by highlighting promising pyrazoline scaffolds for further experimental validation. The integration of computational methods accelerates drug discovery by efficiently screening compounds before costly laboratory testing. This research underscores the importance of targeting viral proteases and offers a foundation for developing effective antiviral drugs to combat current and future coronavirus outbreaks.

Keywords: SARS-CoV-2, main protease, pyrazoline derivatives, molecular docking, antiviral agents

EFFECTS OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE (OSA) MODIFIED STARCH ON THE RHEOLOGICAL AND PARTICLE SIZE PROPERTIES OF XANTHAN GUM SOLUTIONS

Imene BOULHAIA
Abdelkader HADJSADOK
Nadji MOULAI-MOSTEFA
Ali AOUABED

Department of Food Science and Technology, University of Algiers, Algeria

ABSTRACT

This research investigates the impact of octenyl succinic anhydride (OSA) modified starch on the rheological behavior and particle size distribution of xanthan gum solutions, which are widely used as food thickeners and stabilizers. The study evaluates how varying concentrations of OSA starch influence the viscosity, shear-thinning properties, and microstructure of xanthan gum dispersions. Rheological measurements reveal that the addition of OSA starch modifies the viscoelastic properties, enhancing the gel strength and stability of the mixtures. Particle size analysis indicates changes in the aggregation and dispersion of polysaccharide molecules, which correlate with the observed rheological changes. These modifications are attributed to interactions between the hydrophobic groups of OSA starch and the xanthan gum chains, affecting the network formation. The findings have significant implications for food formulation, offering opportunities to tailor texture and stability in products such as sauces, dressings, and dairy alternatives. This study contributes to the understanding of polysaccharide interactions and supports the development of functional food ingredients with improved performance. Further research is recommended to explore the effects under different processing conditions and in complex food matrices.

Keywords: OSA starch, xanthan gum, rheology, particle size, food hydrocolloids

NUTRACEUTICALS: BRIDGING THE GAP BETWEEN NUTRITION AND MEDICINE

Ana-Lucia BLENDEA

Alin CIOBICA

Ioan GOTCA

Andreea GHERASIM

Department of Pharmacology and Nutrition, University of Cluj-Napoca, Romania

ABSTRACT

Nutraceuticals represent a growing field at the intersection of nutrition and medicine, offering health benefits beyond basic dietary needs. This review explores the definition, classification, and therapeutic potential of nutraceuticals, focusing on their role in disease prevention and management. The paper discusses bioactive compounds such as vitamins, minerals, antioxidants, and phytochemicals derived from natural sources. It highlights evidence supporting their efficacy in conditions like cardiovascular diseases, diabetes, cancer, and neurodegenerative disorders. Mechanisms of action, including anti-inflammatory, immunomodulatory, and antioxidant effects, are examined. The challenges of standardization, regulation, and clinical validation are also addressed, emphasizing the need for rigorous scientific evaluation to ensure safety and effectiveness. The review underscores the potential of nutraceuticals as complementary approaches to conventional medicine, promoting personalized nutrition and integrative health strategies. Future directions include the development of novel formulations, improved delivery systems, and large-scale clinical trials. This paper contributes to bridging the gap between nutritional science and therapeutic applications, encouraging multidisciplinary collaboration to optimize health outcomes.

Keywords: nutraceuticals, bioactive compounds, disease prevention, complementary medicine, personalized nutrition

NANOMATERIAL-ENHANCED TRANSDERMAL DELIVERY SYSTEMS FOR TREATING DERMATOLOGICAL CONDITIONS

Babita GUPTA

Department of Pharmaceutical Sciences, University of Delhi, India

ABSTRACT

Transdermal drug delivery offers a non-invasive route for treating various dermatological conditions, but the skin's barrier properties often limit drug penetration. This review focuses on recent advances in nanomaterial-enhanced transdermal delivery systems designed to overcome these challenges. Nanocarriers such as liposomes, solid lipid nanoparticles, nanoemulsions, and polymeric nanoparticles improve drug solubility, stability, and targeted delivery to skin layers. The paper discusses their mechanisms of skin permeation enhancement, controlled release profiles, and biocompatibility. Applications in treating psoriasis, eczema, acne, and skin infections are highlighted, demonstrating improved therapeutic efficacy and reduced side effects compared to conventional formulations. Safety concerns, regulatory aspects, and potential toxicity of nanomaterials are critically evaluated. The review also explores future trends, including stimuli-responsive systems and personalized medicine approaches. By integrating nanotechnology with dermatology, these innovative delivery platforms hold promise for more effective and patient-friendly treatments. This comprehensive analysis provides valuable insights for researchers, clinicians, and pharmaceutical developers aiming to advance transdermal therapies.

Keywords: nanomaterials, transdermal delivery, dermatology, drug delivery systems, nanocarriers



A COMPREHENSIVE REVIEW OF HERBAL MEDICINAL DRUGS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS

K. POOJA

Department of Pharmacognosy, University of Hyderabad, India

ABSTRACT

Herbal medicinal drugs have been used for centuries across cultures for their therapeutic properties. This comprehensive review examines a wide range of herbal medicines, detailing their pharmacological effects, active constituents, and clinical applications. The paper categorizes herbs based on their primary therapeutic actions such as anti-inflammatory, antimicrobial, antioxidant, anticancer, and neuroprotective effects. It discusses key bioactive compounds including alkaloids, flavonoids, terpenoids, and phenolics, explaining their mechanisms of action at the molecular level. The review also addresses challenges in herbal drug research, including variability in plant material, standardization issues, and potential herb-drug interactions. Safety profiles and toxicity concerns are evaluated to inform clinical use. Emphasis is placed on integrating traditional knowledge with modern scientific methods to validate efficacy and ensure quality control. The review highlights promising herbal candidates for drug development and encourages further pharmacological and clinical studies. This work serves as a valuable resource for healthcare professionals, researchers, and policymakers interested in the therapeutic potential of herbal medicines.

Keywords: herbal medicine, pharmacology, bioactive compounds, traditional medicine, drug development

CYTOLOGICAL AND MOLECULAR ANALYSIS OF SPUTUM SAMPLES FROM TUBERCULOSIS SUSPECTS IN WUA SETTLEMENT, NASARAWA STATE

Utume A. WILSON
Daramola E. FUNKE
James O. ADISA
Solomon M. GAMDE

Department of Microbiology, University of Jos, Nigeria

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) remains a major public health concern in Nigeria, particularly in densely populated settlements. This study conducts cytological and molecular analyses of sputum samples collected from TB suspects in the Wua settlement, Nasarawa State. Using microscopy, Ziehl-Neelsen staining, and PCR-based molecular techniques, the research aims to improve diagnostic accuracy and understand the prevalence of *Mycobacterium tuberculosis*. The findings reveal a significant proportion of positive cases confirmed by molecular assays, highlighting the limitations of conventional microscopy alone. Cytological examination provides additional information on cellular changes associated with infection. The study also evaluates risk factors such as HIV co-infection, socioeconomic status, and living conditions contributing to TB transmission. Recommendations include integrating molecular diagnostics into routine TB screening programs to enhance early detection and treatment. The research underscores the need for targeted public health interventions and improved laboratory capacity in resource-limited settings. This comprehensive approach supports efforts to control TB spread and improve patient outcomes in vulnerable communities.

Keywords: tuberculosis, sputum analysis, molecular diagnostics, Nigeria, public health

KNOWLEDGE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH INTRAEPITHELIAL LESIONS AMONG CHILD-BEARING WOMEN IN JOS, NIGERIA

Selji YAKCIT

James O. ADISA

Solomon M. GAMDE

Department of Obstetrics and Gynecology, University of Jos, Nigeria

ABSTRACT

Intraepithelial lesions are precursors to cervical cancer and pose significant health risks to child-bearing women, especially in low-resource settings. This study investigates the knowledge levels and risk factors associated with intraepithelial lesions among women attending healthcare facilities in Jos, Nigeria. Using structured questionnaires and clinical examinations, data were collected on awareness, sexual behavior, HPV infection, smoking, and contraceptive use. The results indicate low awareness of cervical cancer and its precursors, coupled with high prevalence of risk factors such as early sexual debut and multiple partners. Clinical screening identified a notable percentage of women with intraepithelial lesions, emphasizing the need for enhanced preventive measures. The study advocates for comprehensive education programs, increased access to HPV vaccination, and regular screening services to reduce cervical cancer incidence. It also highlights cultural and socioeconomic barriers affecting women's health-seeking behavior. This research contributes to public health strategies aimed at improving women's reproductive health outcomes in Nigeria and similar contexts.

Keywords: intraepithelial lesions, cervical cancer, women's health, Nigeria, HPV awareness



BALKAN 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 10-12, 2025- SKOPJE
ISBN NR. : 978-625-5694-40-9