



Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences

(Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi)

E-ISSN 2548-0006

JAES

AÇEH

31.07.2025

Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi

*Journal of Anatolian
Environmental and Animal Sciences*

Cilt/Volume 10 • Sayı/Number 4 • 2025



Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences

Cilt /Volume: 10, Sayı / Number: 4, Yıl / Year: 2025

(Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi)

İki ayda bir yayımlanır / Published every bimonthly.

E-ISSN: 2548-0006

JAES
AÇEH

Sahibi

Prof. Dr. Bülent VEREP & Prof. Dr. Fikri BALTA

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Baş Editör / Editor-in Chief

Prof. Dr. Bülent VEREP

Recep Tayyip Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Bölümü, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, 53100 Rize, Türkiye

Baş Editör Yardımcıları / Co-Editor in Chief

Prof. Dr. Fikri BALTA

Prof. Dr. Turan YÜKSEK

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Hastalıklar Anabilim Dalı, Türkiye
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Bitki Materyali ve Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Türkiye

Editör Yardımcıları / Co-Editors

Prof. Dr. Nüket SİVRİ, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Arzu Funda BAĞCIGİL, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veterinerlik Fakültesi
Prof. Dr. Alper ÇİFTÇİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Süleyman AKHAN, Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Tamer AKKAN, Giresun University, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Engin Derya GEZER, Karadeniz Teknik Üni., Orman Fakültesi
Prof. Dr. Yavuz MAZLUM, İskenderun Teknik Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Önder Yıldırım, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Fatih Şaban BERİŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Muhammet Mustafa AKINER, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Şenol AKIN, Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi

Editörler Kurulu / Editorial Boards

Prof. Dr. Ahmet ALP, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
Prof. Dr. Athanasios KUNGOLOS, School of Engineering, Aristotle Univ. of Thessaloniki, Greece
Prof. Dr. Cemalettin ŞAHİN, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Davut TURAN, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Gökhan ABAY, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Güzel San. Tas. ve Mim. Fakültesi
Prof. Dr. Hünkar Avni DUYAR, Sinop Üniversitesi, Su ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Gülşay ÇİFTÇİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. İlia TSACHEV, Trakia University Faculty of Veterinary Medicine
Prof. Dr. İlkey Erdoğan ORHAN, Gazi Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi
Prof. Dr. Jinho JUNG, Korea University Env. Sci. and Eco. Eng.
Prof. Dr. Şevki KAYIŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Levent BAT, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Muhammed TÜRKÖĞLU Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Deniz Bil. ve Tek. Fakültesi
Prof. Dr. Muhammet BORAN, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN, Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Nadir Başçınar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Orhan Karşı, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Ricardo PEREZ ENRÍQUEZ, Genética Acuicola Programa de Acuicultura Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste Mexico.
Prof. Dr. Semih ENGİN İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Şengül A. KARAOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Vagif ATAMOV, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Cengiz MUTLU, Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
Prof. Dr. Emre ÇAĞLAK, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ertan Emek ONUK, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Ferhat KALAYCI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Gökmen Zafer PEKMEZCİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Huriye Arınan Karabulut, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Serkan KORAL, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Mehmet AYDIN, Ordu Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Yusuf BEKTAŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ömer Lütfü ÇORBACI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Müh. ve Mimarlık Fakültesi
Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Errol ÇAPKIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Savaş YILMAZ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Fatih İSLAMOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Serhat KÜÇÜKALİ, Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Aysun TÜRKMEN, Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO
Prof. Dr. Cemalettin BALTACI, Gümüşhane Üniversitesi, Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Prof. Dr. Coşkun ERÜZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Ekrem Şanver ÇELİK, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bil. ve Tek. Fakültesi
Prof. Dr. Ayşegül ÇEBİ, Giresun Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Hacer EMİRAL Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Kenan GEDİK, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, MYO
Prof. Dr. Ülgen AYTAZ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ahmet Raif ERYAŞAR, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, MYO
Prof. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU, Giresun Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Doç. Dr. Ertuğrul TERZİ, Kastamonu Üniversitesi, Devrekani Türkiye Oda. ve Bors Birliği MYO
Doç. Dr. Tuba ERGÜL KALAYCI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. İlhan YANDI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi
Doç. Dr. Raşan Evren MAZLUM, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Tülay ÇAGATAY, Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Gülbin FİRİDİN, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre ABD.
Doç. Dr. Şükrü ÖNALAN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Muhammed DUMAN, Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Doç. Dr. Erhan ÇİLOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi
Doç. Dr. Fatma Delihan SONAY, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Gökhan KALAYCI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Hatice ONAY, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Hazel BAYTAŞOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Barış KARSLI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Koray ÖZSEKER, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü
Doç. Dr. Oğuz KURDOĞLU, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi
Doç. Dr. Nimet Selda BAŞÇINAR, Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü
Doç. Dr. Hakan KARAOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Christina EMMANOÜL, Aristotle University of Thessaloniki School of Engineering
Dr. Ayşe DEMİRBAŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Münevver ORAL, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Öğ. Üyesi Salih KUMRU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Öğ. Üyesi Şafak KALINDAMAR, Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Yönetim Yeri Adres / Address

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,
Zihni Derin Yerleşkesi, Fener Mah., 53100, Rize / Turkey.

Tel: 90 464 223 33 895-1438 ve 1436

Fax: 90 464 223 41 18

İletişim: jaestr61@gmail.com, jaes-tr@hotmail.com

Yayın Türü: Yaygın süreli ve hakemli

Yayın Tarihi: 31.07.2025

Tüm hakları saklıdır. Bu Derginin tamamı ya da Dergide yer alan bilimsel çalışmaların bir kısmı ya da tamamı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi sahibi yazılı izni olmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

İnternet Adreslerimiz / Web Addresses

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jaes>



İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

	Makale Türü Article Type	Sayfa No Page No
Gerze Meslek Yüksekokulu'nun Karbon Ayak İzi Hesaplaması, Monte Carlo Analizi ve Sürdürülebilirlik Stratejileri Carbon Footprint Calculation, Monte Carlo Analysis and Sustainability Strategies of Gerze Vocational School. Hüseyin SÖYLER	Araştırma Research	328-337
Molecular Detection Of <i>Toxoplasma gondii</i> And <i>Cryptosporidium parvum</i> Oocysts Uptake By Carpet Shell Clams (<i>Ruditapes decussatus</i> L.) From İzmir Bay (Türkiye). İzmir Körfezi (Türkiye) Akivadesleri (<i>Ruditapes decussatus</i> L.) Tarafından <i>Toxoplasma gondii</i> ve <i>Cryptosporidium parvum</i> Ookistlerinin Alımının Moleküler Tespiti. Esat ÇİLLİ & Aynur LÖK	Research Araştırma	338-344
Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Twaite Shad Fish Silage. Tirsi Balığı Silajının Besin İçeriği ve Yağ Asidi Kompozisyonu. Rifat TEZEL	Research Araştırma	345-351
Rize Kent Merkezinde Kentsel Gelişimin Yeşil Alanlara Etkisi: 2009–2024 Yılları Arasında Zamansal Bir Değerlendirme. The Impact of Urban Development on Green Spaces in Rize City Center: A Temporal Assessment Between 2009 and 2024. Gülcey ERCAN OĞUZTÜRK, Çağla SAĞIR, Turan YÜKSEK, Ali Erdem ÖZÇELİK, Ömer Lütfü ÇORBAC & Türker OĞUZTÜRK	Araştırma Research	352-359
Exploring the Potential of <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> N33 in Biocontrol. <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> N33'ün Biyokontrolde Kullanım Potansiyelinin Ortaya Çıkarılması Sevda UÇAR, Şeyma ALIM, Neslihan DİKBAŞ & Kağan KÖKTEN	Research Araştırma	360-365
Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: I. Mera Durumu Tespiti. Determination of Botanical Composition and Pasture Quality of Beyazsu Plateau (Borçka/ARTVİN): I. Pasture Status Detection Necati Anıl ARIKAN & Adil BAKOĞLU	Araştırma Research	366-373
Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: II. Meranın Verim ve Besin Madde İçeriklerinin Zamansal Değişimi. Determination of Botanical Composition and Pasture Quality of Beyazsu Plateau (Borçka/ARTVİN): II. Temporal Variation of Pasture Yield and Nutrient Content. Necati Anıl ARIKAN & Adil BAKOĞLU	Araştırma Research	374-380
Karayolu Ulaşımında Bitkisel Yeşil Dokunun Hava Kalitesine Etkisi. The Effect of Vegetal Green Texture on Air Quality in Highway Transportation. Sezer ÜNAL, Necla TEKTAŞ & Mehmet TEKTAŞ	Araştırma Research	381-391
Molecular identification of <i>Saprolegnia ferax</i> isolated from rainbow trout eggs in Turkey and antifungal activity of <i>Hypericum perforatum</i> and <i>Zingiber officinale</i> essential oils. Türkiye'de gökkuşağı alabalığı yumurtalarından izole edilen <i>Saprolegnia ferax</i> 'ın moleküler tespiti ve <i>Hypericum perforatum</i> ve <i>Zingiber officinale</i> uçucu yağlarının antifungal aktivitesi. Öznur ÖZİL, Ergi BAHRIÖĞLU & Halit BAYRAK	Research Araştırma	392-400
Akçakoca Deniz Balıkçılığının Sosyo-Ekonomik Göstergeleri. Socio-economic Indicators of Akçakoca Marine Fisheries. Yılmaz Asutay TURAN & Ahmet Şeref KORKMAZ	Araştırma Research	401-407
Farklı Meşçere Tiplerinde Kızılçam (<i>Pinus Brutia</i>) Ormanları İçin Toprak Üstü Biyokütle Karbon Tahmini: Landsat 9 Uydu Verileri ile Makine Öğrenmesi Yaklaşımı. Above Ground Biomass Estimation for Turkish Pine (<i>Pinus brutia</i>) Forests in Different Stand Types: A Machine Learning Approach with Landsat 9 Satellite Data Esin KARAMANLI	Araştırma Research	408-415
<i>Fusarium proliferatum</i> : isolation, identification and evaluation of its association with the model insect <i>Galleria mellonella</i> (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). <i>Fusarium proliferatum</i> : izolasyonu, tanımlaması ve model böcek <i>Galleria mellonella</i> (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) ile ilişkisinin değerlendirilmesi. Pınar GÜNER, Aylin ER, Tülin ASKUN, Görkem Deniz SÖNMEZ & Selin Meryem ŞENGÜL	Research Araştırma	416-423
A Preliminary Study on Seasonal Changes in the Feeding Ecology and Growth Patterns of the Lessepsian Red Sea Goatfish <i>Parupeneus forsskali</i> Fourmanoir & Guézé, 1976 in the Gulf of Antalya, Eastern Mediterranean. Doğu Akdeniz, Antalya Körfezi'nde Lessepsiyen Kızıldeniz Keçi Balığı (<i>Parupeneus forsskali</i>)'nın Beslenme Ekolojisi ve Büyüme Özelliklerindeki Mevsimsel Değişimler Üzerine Ön Çalışma. Betül BARAN, Abdullah ÖZ, İlayda GÜVEN & Nehir KAYMAK	Research Araştırma	424-430
The First and Current Checklist of the Animal Species Bearing Lampbrush Chromosomes. Lamba Fırçası Kromozomları Taşıyan Hayvan Türlerinin İlk ve Güncel Listesi. Nadim YILMAZER & Melek KESKİN BAŞPINAR	Research Araştırma	431-442
Kontrollü Koşullarda Yetiştirilen Farklı Tatlısu Balıklarında Kan Biyokimyasal Parametre Değerleri: Üre, Glukoz, Kreatinin, ALT, AST ve ALP. Serum Biochemical Parameter Levels in Different Freshwater Fish Species Cultured Under Controlled Conditions: Urea, Glucose, Creatinine, ALT, AST and ALP. Mert Minaz, Akif Er, Kübra Ak, İlker Zeki Kurtoğlu & Şevki Kayış	Araştırma Research	443-451
Phenolic Compound Profile of <i>Allium pervariensis</i> : Phytochemical Analysis by LC-HRMS and Potential Applications. <i>Allium pervariensis</i> 'in Fenolik Bileşik Profili: LC-HRMS ile Fitokimyasal Analiz ve Potansiyel Uygulamaları. İdris YOLBAŞ	Research Araştırma	452-456
Effect of Different Drying Methods on Biochemical Composition of <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Haematococcus pluvialis</i> . Farklı Kurutma Yöntemlerinin <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> ve <i>Haematococcus pluvialis</i> 'in Biyokimyasal Kompozisyonuna Etkisi. Benan İNAN	Research Araştırma	457-463
Correlation Between Visual Assessment and CR 10-14 Color Measurement Devices in Turkish Salmon Fillets. Türk Somon Filetolarında Görsel Değerlendirme ile CR 10-14 Renk Ölçüm Cihazları Arasındaki Korelasyon. Ayşe KARA, Emre ÇAĞLAK, Barış KARSLI, Özen Yusuf ÖĞRETMEN & Neslihan ÖĞRETMEN	Research Araştırma	464-470
Analysis of Gut Microbiota and Assessment of Environmental Health in Western Anatolian Vole (<i>Microtus lydius</i> Blackler, 1916). Batı Anadolu Tarla Faresi (<i>Microtus lydius</i> Blackler, 1916)'nde Bağırsak Mikrobiyotası Analizi ve Çevresel Sağlık Değerlendirmesi. Tuba YAĞCI GURBANOV & Gözde AYSEÇKİN	Research Araştırma	471-477
Anıtsal Taş Yapılarda Bozunmalar: Hatay-Antakya Alvan Su Kemerleri Örneği. Deterioration in Monumental Stone Structures: The Case of Hatay-Antakya Alvan Aqueducts. Ayşe DOLAR, Murat DAL & Erol ATAY	Research Araştırma	478-484
<i>Oreochromis niloticus</i> 'un Türkiye'deki Potansiyel Dağılım Alanlarının Belirlenmesi: Ekolojik Niş Modellemesi Yaklaşımı. Determination of Potential Distribution Areas of <i>Oreochromis niloticus</i> in Turkey: Ecological Niche Modeling Approach. Oğuzcan MOL & Özgür EMİROĞLU	Research Araştırma	485-492
Sürdürülebilir Turizm Kapsamında Coğrafi İşaret Kullanımına Yönelik Nicel Bir Araştırma. A Quantitative Study on the Use of Geographical Indications Within the Scope of Sustainable Tourism. Elanur MUTLU & Gökalep Nuri SELÇUK	Research Araştırma	493-500
Üniversite Öğrencilerinin Su Ürünleri Tüketim Tercihleri Üzerine Bir Araştırma: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Örneği. An Investigation into University Students' Seafood Consumption Preferences: A Case Study of Recep Tayyip Erdoğan University. Barış KARSLI & Murat TÜREDİ	Research Araştırma	501-513
Evaluation of Bee Venom-Induced Toxicity: Toxicity and Management. Arı Zehri Kaynaklı Toksisitenin Değerlendirilmesi: Toksisite ve Yönetim. Sidika GENC, Kubra KARABULUT, Esmanur NİGDE, Seval BUYUKGOCMEN & Ali TAGHİZADEHGHJALHOUGHİ	Research Araştırma	514-520
Maya Endüstrisi Atıklarının Arıtımında Farklı Dekoloran ve PAK Kombinasyonlarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi. Evaluation of the Efficiency of Different Decolorant and PAC Combinations in the Treatment of Yeast Industry Wastewater Bilgehan İlker HARMAN, Mert Minaz, Hasan KÖSEOĞLU, Nevzat Özgür YİĞİT & Mehmet KİTİŞ	Research Araştırma	521-532



Gerze Meslek Yüksekokulu'nun Karbon Ayak İzi Hesaplaması, Monte Carlo Analizi ve Sürdürülebilirlik Stratejileri

Hüseyin SÖYLER

Sinop Üniversitesi, Gerze Meslek Yüksekokulu, Sinop, Türkiye

Geliş Tarihi: 31.01.2025

Kabul Tarihi: 18.05.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Söyler, H. (2025). Gerze Meslek Yüksekokulu'nun Karbon Ayak İzi Hesaplaması, Monte Carlo Analizi ve Sürdürülebilirlik Stratejileri. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(4), 328-337. <https://doi.org/10.35229/jaes.1630670>

How to cite: Söyler, H. (2025). Carbon Footprint Calculation, Monte Carlo Analysis and Sustainability Strategies of Gerze Vocational School. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(4), 328-337. <https://doi.org/10.35229/jaes.1630670>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-00021216-7049>

***Sorumlu yazarın:**

Hüseyin SÖYLER
Sinop Üniversitesi, Gerze Meslek Yüksekokulu,
Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, 57600, Gerze/
Sinop, Türkiye.
✉: hsoyler@sinop.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, Sinop Üniversitesi Gerze Meslek Yüksekokulu yerleşkesinin 2024 yılına ait karbon ayak izi IPCC Tier 1 ve DEFRA yöntemleriyle hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ısıtma, elektrik tüketimi ve ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanan karbon salınımları dikkate alınmıştır. IPCC Tier 1 yöntemine göre toplam karbon ayak izi 137.404,94 kg CO₂, DEFRA yöntemine göre ise 104.826,96 kg CO₂ olarak belirlenmiştir. Analiz kapsamında, doğalgazdan kaynaklı emisyonların en yüksek değere sahip olduğu; bunu sırasıyla elektrik tüketimi ve ulaşım kaynaklı emisyonların takip ettiği görülmüştür. Karbon ayak izi hesaplamalarının daha doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi amacıyla Monte Carlo Simülasyonu (10.000 iterasyon) uygulanmış; simülasyon sonucunda IPCC yöntemi için ortalama emisyon değeri 131.895,5 kg CO₂, standart sapma 3.685,7 kg CO₂, minimum değer 124.555 kg CO₂ ve maksimum değer 139.163 kg CO₂ olarak elde edilmiştir. Ayrıca, IPCC Tier 1 ve DEFRA yöntemlerine göre yapılan hesaplamalar karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve yöntemler arası farklar değerlendirilmiştir. Çalışmada ulaşılan sonuçlar doğrultusunda, meslek yüksekokullarında karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik kısa ve orta vadeli uygulanabilir çözüm önerileri geliştirilmiş; kurumsal sürdürülebilirlik yönetimi bağlamında değerlendirmelere yer verilmiştir. Bu yönüyle çalışma, kırsal bölgelerde yer alan eğitim kurumları için uygulanabilir karbon azaltım stratejileri geliştirilmesine katkı sunmakta ve sürdürülebilirlik yönetimi açısından örnek bir model oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Karbon ayak izi, sera gazı emisyonu, karbon nötrlüğü, çevresel sürdürülebilirlik, monte carlo simülasyonu.

Carbon Footprint Calculation, Monte Carlo Analysis and Sustainability Strategies of Gerze Vocational School

Abstract: This study presents a comprehensive carbon footprint analysis of Sinop University Gerze Vocational School for the year 2024 using IPCC Tier 1 and DEFRA methodologies. Emissions resulting from natural gas consumption for heating, electricity use, and transportation activities were evaluated. According to the IPCC Tier 1 method, the total carbon footprint was calculated as 137,404.94 kg CO₂, while the DEFRA method yielded 104,826.96 kg CO₂. The analysis identified natural gas as the largest emission source, followed by electricity consumption and transportation. To improve the reliability of the calculations, a Monte Carlo simulation with 10,000 iterations was performed. For the IPCC method, the simulation produced an average emission value of 131,895.5 kg CO₂, with a standard deviation of 3,685.7 kg CO₂, a minimum value of 124,555 kg CO₂, and a maximum value of 139,163 kg CO₂, within a 95% confidence interval. The study also compares the results obtained from the IPCC and DEFRA methods, highlighting the methodological differences. Based on these findings, short- and medium-term mitigation strategies were proposed for reducing carbon emissions in vocational schools, supported by an institutional sustainability perspective. In this respect, the study contributes to the development of applicable carbon reduction strategies for educational institutions located in rural areas and serves as a model for sustainability management.

***Corresponding author's:**

Hüseyin SÖYLER
Sinop University, Gerze Vocational School,
Department of Transport Services, 57600,
Gerze/SINOP, Türkiye
✉: hsoyler@sinop.edu.tr

Keywords: Carbon Footprint, Greenhouse Gas Emission, Carbon Neutrality, Environmental Sustainability, Monte Carlo Simulation.

GİRİŞ

Temel olarak fosil yakıtların yakılması ve ormanların yok olmasından kaynaklanan iklim değişikliği, küresel sıcaklık artışına, aşırı hava olaylarına ve deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu değişiklikler biyoçeşitliliği ve insan refahını önemli ölçüde etkilemekte, mahsul verimliliğini azaltmakta ve doğal afetleri artırmaktadır (Shivanna, 2022). İklim değişikliği tarımı, endüstriyi ve genel kalkınmayı tehdit ederek Dünya'nın büyük bölümünü potansiyel olarak yerleşime elverişsiz hale getirmektedir (Adamo et al., 2021). Bazıları iklim değişikliğinin doğal bir olgu olduğunu savunsa da, çoğu bilim insanı bunun öncelikle insan kaynaklı olduğu konusunda hemfikir (Nda et al., 2018). İklim değişikliğinin bu olumsuz etkilerini azaltma çabaları arasında sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ormanların artırılması yer almaktadır. Ayrıca uluslararası anlaşmalar küresel ısınmayı Sanayi Devrimi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde sınırlamayı hedeflemektedir. Ancak mevcut tahminlere göre bu hedefe ulaşmak için acilen ek önlemlere ihtiyaç olduğu görülmektedir (Shivanna, 2022).

Sanayi Devrimi, atmosferik CO₂ konsantrasyonlarında önemli bir artışa yol açmıştır (Setiawan ve Asvial, 2016). Bu artış temel olarak, küresel insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %80'inden fazlasını oluşturan fosil yakıtların yaygın kullanımına bağlanmaktadır. Bu etkileri hafifletmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve karbon emisyonlarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Stratejiler arasında enerji verimliliğinin artırılması, karbon vergilerinin uygulanması ve yenilenebilir teknolojilere yatırım yapılması yer almaktadır (Akan ve Akan, 2012). Bunların yanı sıra karbon yakalama ve depolama da fosil yakıt yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için potansiyel bir çözüm olarak önerilmektedir (Tandon & Mallik, 2018). Fosil yakıtların ekonomik avantajlarının üstesinden gelebilmek için teknolojik ilerlemelere ve destekleyici hükümet politikalarına ihtiyaç vardır (Soeder, 2021).

İklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir gösterge olan karbon ayak izi, bireylerin, kuruluşların veya ürünlerin toplam sera gazı emisyonlarını tipik olarak CO₂ eşdeğeri cinsinden ölçmektedir (Wright et al., 2011). Karbon ayak izi enerji tüketimi, ulaşım ve atık yönetimi gibi faaliyetlerden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı emisyonları kapsamaktadır (Ivanova et al., 2023). Karbon ayak izinin azaltılması, enerji verimliliğinin artırılmasını, yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesini ve çeşitli sektörlerde sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesini içermektedir (Ivanova et al., 2023; Shabir et al., 2023).

Karbon ayak izi hesaplama yöntemlerinde genellikle IPCC Tier 1 ve DEFRA gibi uluslararası kabul

görmüş yaklaşımlar kullanılmaktadır. IPCC Tier 1 yaklaşımı varsayılan emisyon faktörlerini ve yakıt tüketimi verilerini kullanırken, daha yüksek kademeler ülkeye özgü verileri ve daha ayrıntılı modelleri içermektedir. Tier 1 yöntemi basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılsa da bölgesel farklılıkları hesaba katmayabilir. Tier 2 ve Tier 3 gibi daha gelişmiş yöntemler, yerel verileri ve ayrıntılı modelleri bir araya getirerek daha doğru tahminler sağlayabilmektedir (Kim et al., 2011; Lokupitiya & Paustian, 2006). Ancak daha yüksek kademeli yöntemlerin uygulanması genellikle daha kapsamlı veri ve kaynak gerektirir ki bu da birçok ülke için bir kısıtlama olabilir. Kullanılan yöntem ne olursa olsun, Monte Carlo Simülasyonları gibi teknikler aracılığıyla belirsizliklerin ele alınması, karbon ayak izi hesaplamalarının sağlamlığını artırabilir (Şevik ve Şahin, 2024).



Şekil 1. İklim değişikliği ve karbon ayak izi sebepleri ve etkileri.
Figure 1. Causes and effects of climate change and carbon footprint.

Karbon ayak izi hesaplamaları, kuruluşların çevresel etkilerini değerlendirmeleri ve sürdürülebilirlik stratejileri geliştirmeleri için çok önemlidir. Eğitim ve araştırma merkezleri olarak üniversiteler, sürdürülebilirliğin teşvik edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Karbon ayak izlerini doğru bir şekilde hesaplamak için kuruluşların farklı kapsamlardaki çeşitli emisyon kaynaklarını hesaba katabilecek özel araçlara ihtiyacı vardır (Valls-Val & Bovea, 2021). Araştırmalar, kuruluşlarda karbon emisyonlarına en çok katkıda bulunan unsurların genellikle hareketlilik, özellikle de hava yolculuğu ile ısınma ve elektrik için enerji tüketimi olduğunu göstermiştir (Almeida et al., 2014; Loyarte-López et al., 2020). Üniversitelerdeki karbon ayak izi hesaplamalarına ilişkin vaka çalışmaları değerli bilgiler sağlayabilir ve en iyi uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olabilir. Ancak bu alanda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Kuruluşların etkili azaltım önlemlerini belirlemelerine ve karbon nötrlüğü hedefleri doğrultusunda çalışmalarına olanak sağlamaktadır (Kiehle et al., 2022).

Meslek yüksekokulunun karbon ayak izini hesaplamak, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir adımdır. Kampüsün enerji tüketimi, ulaşım faaliyetleri, atık yönetimi ve kullanılan malzemeler gibi süreçlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının analizi, çevreye olan etkimizin bilimsel olarak ortaya konulmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, karbon ayak izi hesaplama yöntemlerinden Tier 1 ve DEFRA metotları kullanılarak meslek yüksekokulumuz için karbon ayak izi analizi yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmayla birlikte enerji tüketiminde yenilenebilir kaynaklara yönelme, atık yönetiminde geri dönüşüm oranını artırma ve yeşil ulaşımı teşvik etme gibi hedefler belirlenmiştir. Sürdürülebilirlik ve karbon nötr hedefleri için çeşitli teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojilerin en önemlilerinden biri de yapay zeka teknolojisidir. Günümüzde yapay zeka, eğitim, iletişim, çevre koruma, ekonomi, sağlık, büyük veri analizi ve enerji yönetimi gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Karaoğlu, 2024). Eğitim kurumları gibi büyük enerji tüketimine sahip yapıların karbon ayak izi azaltma stratejilerinde yapay zeka tabanlı optimizasyon algoritmaları, enerji tüketimi profillerini analiz ederek verimliliği artırabilir. Bu teknolojiler, ulaşım emisyonlarının modellenmesinde ve sürdürülebilirlik raporlamalarının doğruluğunda yeni ufuklar açmaktadır. Gerze Meslek Yüksekokulu'nda karbon ayak izi analizi çalışmaları, gelecekte yapay zeka destekli enerji yönetim sistemleri ile entegre edilerek daha hızlı ve kapsamlı bir şekilde sürdürülebilirlik hedeflerini gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Elde edilen sonuçlar, kurumumuzun sürdürülebilirlik raporlamalarında kullanılarak çevresel performansın ölçülmesine katkı sağlayacaktır. Bu tür bir analiz, yalnızca kurumumuzun çevreye olan etkisini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda öğrenciler ve çalışanlar arasında sürdürülebilir yaşam bilincini yaygınlaştırmaya da hizmet edecektir.

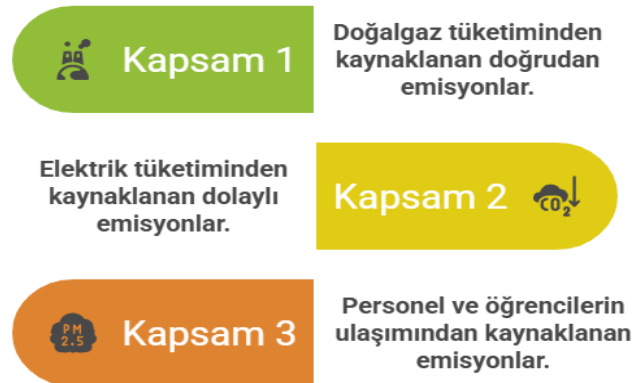
Ayrıca eğitim kurumlarında karbon ayak izi hesaplamaları, çevresel etkilerin sistematik şekilde izlenmesi, enerji ve kaynak kullanımının daha verimli hale getirilmesi ve sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür analizler, yalnızca kurumsal düzeyde değil, aynı zamanda öğrenci ve personel gibi paydaşların farkındalık düzeyinin artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu tür çalışmalar, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) çerçevesinde değerlendirildiğinde; özellikle Amaç 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), Amaç 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) ve Amaç 13 (İklim Eylemi) ile doğrudan ilişkilidir (Bui & Pham 2024; United Nations 2015; Valls-Val & Bovea 2022). Bu bağlamda, yükseköğretim kurumlarında yapılan karbon ayak izi analizleri, ülkemizin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına katkı sunabilecek nitelikte veriler üretmektedir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanının Tanımı: Cittaslow (Yavaş Şehir) hareketi, yerel kimlikleri koruyarak daha sürdürülebilir ve yaşanabilir şehirler yaratmayı amaçlar. Bu hareketin önemli bir unsuru, karbon ayak izinin azaltılmasıdır. Cittaslow şehirleri, enerji tüketimini minimize etmek, yerel ve organik ürünlerin kullanımını teşvik etmek, yeşil alanları artırmak ve toplu taşımayı desteklemek gibi yöntemlerle çevresel sürdürülebilirliği önceliklendirir. Doğal kaynakların daha verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu, bu şehirlerin karbon salınımının azaltmasına katkı sağlar. Ayrıca, şehir sakinlerini bilinçlendirerek bireysel karbon ayak izlerini küçültmelerini teşvik ederler. Bu yaklaşım, sadece çevreye değil aynı zamanda toplumsal refaha da hizmet eder. Cittaslow şehirlerinin iklim değişikliğiyle mücadelede bir model oluşturması, diğer şehirler için ilham kaynağıdır ve daha sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımdır (Belli ve Çelik 2022; Brodziński & Kurowska 2021; CittaSlow 2025).

Sinop ilinin Gerze ilçesi Türkiye'deki 26 cittaslow ilçeden bir tanesidir ve ünvanı 2017 yılında almıştır. Karbon ayak izinin hesaplanması ve azaltılması tüm şehirler için önemlidir ancak bu durum cittaslow şehirler için çok daha mühim bir konudur. Bu yüzden cittaslow bir şehirde bulunan Sinop Üniversitesi Gerze Meslek Yüksekokulu'nda karbon ayak izi analizinin yapılması ve azaltılması için farkındalık oluşturmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Sinop Üniversitesi Gerze Meslek Yüksekokulu'nda 40 akademik personel, 9 idari personel, 13 yardımcı hizmetler personeli ve 357 öğrenci bulunmaktadır. Karbon ayak izi hesabını yapmak için önce meslek yüksekokulunun toplam elektrik tüketimi ve ısıtma için kullanılan doğalgaz kullanılmıştır. Buna göre; 2024 yılı Ocak ve Aralık ayları arasındaki 12 aylık tüketim miktarları kullanılmıştır. Meslek yüksekokulunda elektrik tüketimi; 4 adet asansör, bina içi ve çevre aydınlatması, personel ofisleri, bilgi işlem odaları, bilgisayar laboratuvarları, tekstil atölyeleri ve öğrenci uygulama mutfağından kaynaklanmaktadır. Doğalgaz tüketimi ise 20 bin metre kare kapalı alanına sahip MYO'nun ısıtılması ve öğrenci uygulama mutfağındaki tüketimden oluşmaktadır. Karbon ayak izi hesaplanırken elektrik ve doğalgaz tüketimlerinin yanı sıra meslek yüksekokulu personeli ve öğrencileri tarafından kullanılan araçlardan kaynaklanan CO₂ salınımı dikkate alınmıştır. Meslek yüksekokulunda görevli bütün personellerin okula gelmek için kullandıkları araçların teknik özellikleri ve meslek yüksekokuluna gelmek için günlük olarak kat edilen mesafeler hesaplanmıştır. Gerze Meslek Yüksekokulu personeline ait araçlar, ulaşım kaynaklı karbon ayak izi hesaplamalarında daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla yakıt türü (benzin, dizel, LPG) ve motor hacmi (litre) bazında sınıflandırılmıştır. Toplam 48 aracın

değerlendirildiği çalışmada, dizel araç sayısı 24, benzinli araç sayısı 16 ve LPG'li araç sayısı 6 olarak tespit edilmiştir. Araçların motor hacimleri genel olarak 1.2–1.6 litre aralığında yoğunlaşmaktadır. Karbon ayak izi hesaplamalarında, her bir yakıt türü ve motor hacmi kombinasyonu için IPCC (2006) ve DEFRA (2020) kaynaklarında yer alan uygun CO₂ emisyon faktörleri kullanılmıştır. Her taşıt grubunun emisyonu ayrı ayrı hesaplanarak, toplam ulaşım kaynaklı karbon emisyonu belirlenmiştir. Ayrıca öğrenim gören kız öğrencilerin 194 tanesi ilçede bulunan Gençlik ve Spor Bakanlığı Kredi ve Yurtlar Müdürlüğü'ne ait yurttaki ikamet etmektedir. Öğrenci yurdu ile meslek yüksekokulu arasındaki mesafe ölçülmüştür ve hesaplamalarda bu değer dikkate alınmıştır. Bu çalışmada karbon ayak izini incelemek için, Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 oluşturulmuştur. Buna göre, Kapsam 1 değerlendirmesinde; MYO'nun ısıtılmasında kullanılan doğalgaz tüketimi kullanılmıştır. Kapsam 2'de toplam elektrik tüketimi, Kapsam 3'de ise MYO personeli ve öğrencilerin ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonları kullanılmıştır.



Şekil 2. Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan kapsamlar.
Figure 2. Scopes used in carbon footprint calculations.

Tablo 1. Yakıtların net kalorifik değerleri ve emisyon faktörleri.

Yakıt türü	Net kalorifik değer	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
	(Tj/Gg)			
Motorin	43	74100	3,9	3,9
Benzin	44,3	69300	25	8
LPG	47,3	63100	5	0,1
Doğalgaz	48	56100	5	0,1

Gerze MYO'nun 2024 yılına ait karbon ayak izi hesaplaması yapılırken 2021-2022 yıllarına ait elektrik dönüşüm faktörleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı raporlardan alınmıştır. Bu değerler tablo 2'de verilmiştir (EİGM Raporları, 2023).

Tablo 2. Elektrik tüketim dönüşüm faktörleri.

Yıllar	Dönüşüm faktörü gram CO ₂ /kWh
2021	439
2022	442

MYO'nun Tüketim Verileri: Gerze MYO'ya ait emisyon kaynakları ile ilgili veriler Tablo 3'te verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan elektrik ve doğalgaz tüketim verileri, 2024 yılına ait olmak üzere Sinop Üniversitesi Gerze Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü'nden resmi yazı ile talep edilerek temin edilmiştir.

Tablo 3. Tüketim miktarları.

Table 3. Consumption amounts.

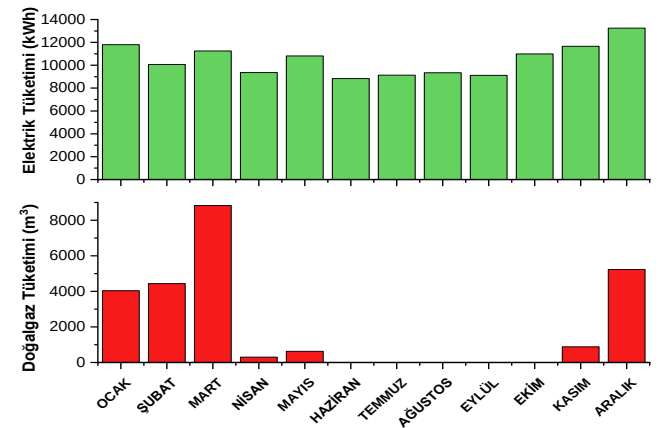
Doğalgaz (m ³)	Elektrik (kWh)	Motorin (lt)	Benzin (lt)	LPG (lt)
Kapsam 1	Kapsam 2	Kapsam 3		
24335	125600	7132	1869	237

MYO'da 12 ay boyunca tüketilen elektrik, doğalgaz ve akaryakıt toplamaları Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca 2024 yılı Ocak ve Aralık ayları arasındaki doğalgaz ve elektrikten kaynaklanan kullanım değerleri Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 4. Gerze MYO emisyon kaynakları.

Table 4. Gerze Vocational School emission sources.

Emisyon kaynakları	Değerleri
Personel sayısı	62
Öğrenci sayısı	1599
Personele ait araç sayısı	48
Isınmada kullanılan yakıt türü (m ³)	Doğalgaz
Öğrenci yurdu ile Meslek yüksekokulu arasındaki mesafe (km)	2,7
Toplu taşıma araçlarının yakıt türü	Dizel



Şekil 3. 2024 yılı aylara göre doğalgaz ve elektrik kullanım oranları.

Figure 3. Natural gas and electricity utilisation rates by months in 2024.

Şekil 3'te Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları arasında genel olarak hava sıcaklıklarının yüksek olmasından dolayı ısınma faaliyeti yapılmadığından bu aylardaki doğalgaz tüketimi sıfır m³'dür.

Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri: Bu çalışmada karbon ayak izi hesaplaması için IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ve DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) yöntemleri kullanılmıştır.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Yöntemi: IPCC, küresel ısınmanın etkilerini değerlendiren ve sera gazı emisyonlarını hesaplamak için kullanılan en yaygın yaklaşımdır. Bu yöntem; Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 gibi üç seviyeden oluşur. Tier 1 seviyesinde, küresel ortalamalar kullanılarak hesaplama yapılır. Bu yöntem, ülke ve sektör bazında emisyon faktörleri kullanır

ve genellikle basit hesaplamalar için uygundur. Tier 2, yerel veriler ve daha detaylı emisyon faktörleri kullanarak daha hassas sonuçlar sağlar. Tier 3, en detaylı ve doğru hesaplama yöntemidir; bu seviyede, ülke veya sektör spesifik veriler ile faaliyetin her bir ayrıntısı göz önünde bulundurularak emisyon hesaplanır. Bu metodoloji, daha hassas ve güvenilir veriler sağlamak amacıyla kullanılır (IPCC 2014; Janssens et al. 2017; Peter et al. 2016).

DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) Yöntemi: Birleşik Krallık Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından geliştirilen DEFRA Yöntemi, özellikle İngiltere ve Avrupa için daha yerel verilere dayalı hesaplamalar yapılmasına olanak sağlar. Bu yöntem, elektrik tüketimi, ulaşım, doğalgaz, atık ve diğer sektörlerden kaynaklanan emisyonları hesaplar. DEFRA'nın yaklaşımı, yerel enerji karışımını dikkate alarak, enerji üretiminde kullanılan kaynakların bölgesel farklılıklarını yansıtarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar (Cowie, et al., 2012; Greenhouse gas reporting, 2020).

Monte Carlo Simülasyonu: Bu çalışmada, Monte Carlo Simülasyonu, karbon ayak izi hesaplamalarındaki belirsizlikleri değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Monte Carlo Simülasyonu, belirli parametrelerdeki rastgele değişiklikleri hesaba katmak için kullanılan bir tekniktir ve her bir değişkenin (doğalgaz tüketimi, elektrik tüketimi, ulaşım emisyonları vb.) olasılık dağılımlarını modelleyerek büyük sayıda rastgele örneklem üretir (Bari et al. 2023; Gupta, 2014; Heijungs, 2020). Bu yöntem sayesinde, emisyon hesaplamalarının doğruluğu artırılmış ve hesaplamalarda oluşabilecek belirsizlikler daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmiştir. Simülasyon, her bir emisyon kaynağının etkilerini göz önünde bulundurarak 10.000 iterasyon üzerinden gerçekleştirilmiş ve sonuçların %95 güven aralığında 124.555 kg ile 139.163 kg CO₂ arasında değiştiği bulunmuştur. Ortalama karbon emisyon değeri ise 131.895 kg CO₂ olarak hesaplanmıştır. Bu simülasyon, emisyon hesaplamalarının güvenilirliğini artırarak, elde edilen verilerin tutarlılığını ve ölçüm hassasiyetini sağlamıştır. Monte Carlo Simülasyonu, veri kaynaklarındaki potansiyel dalgalanmalara karşı daha sağlam bir tahmin

yapmaya olanak tanımaktadır (Kostić, et al., 2017; Le et al. 2020).

BULGULAR

Gerze MYO'nun 2024 yılı tüketim verileri kullanılarak IPCC Tier 1 yöntemi ve DEFRA yöntemi ile Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 hesaplamaları yapılmıştır. Her bir yakıt türü için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre Kapsam 1 metodunda doğalgaz, motorin, benzin ve LPG için hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 5'te IPCC Tier 1 ve DEFRA Yaklaşımlarına göre Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 CO₂ emisyonu miktarları görülmektedir.

Tablo 5 incelendiğinde IPCC Tier 1 yaklaşımına göre; Kapsam 1 içinde yer alan yakıtlar içerisinde en fazla karbon emisyonuna 47.181,08 kg ile doğalgazın sebep olduğu görülmüştür. Bu durum MYO'nun ısıtılmasında doğalgaz kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak 20 bin metrekaare kapalı alanı ısıtmak için doğalgazın kömüre göre çok daha ekonomik ve daha çevreci olduğu düşünülmektedir. Araçlardan kaynaklanan karbon emisyonları incelendiğinde en fazla karbon emisyonun 19.088,74 kg ile motorinden kaynaklandığı görülmektedir.

Bu durumun dizel araçların yakıt tüketimi değerlerinin benzinli araçlardan daha düşük değere sahip olmasından kaynakladığı düşünülmektedir. Benzinden kaynaklanan karbon emisyonu miktarı ise 5.041,52 kg olarak belirlenmiştir. Son olarak LPG'den kaynaklanan karbon emisyonu fosil yakıtlar içerisindeki en küçük değere sahiptir. IPCC Tier 1 yaklaşımına göre yapılan karbon emisyonunda elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar Kapsam 2 altında değerlendirilmiştir. 2024 yılında Gerze MYO'nun elektrik tüketimi toplam 125.600.4 kWh'dır. Buna göre hesaplamalar yapıldığından elektrikten kaynaklanan karbon emisyonunun 62.800 kg olduğu belirlenmiştir.

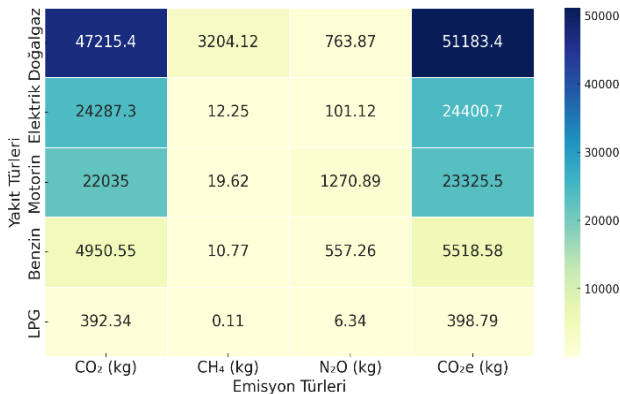
IPCC Tier 1 yaklaşımı; Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3'e göre yapılan analizler sonucundaki karbon emisyonları toplandığında 2024 yılı için Gerze MYO'nun toplam karbon emisyonu 137.404,94 kg olarak bulunmuştur.

Tablo 5. IPCC Tier 1 ve DEFRA yaklaşımlarına göre 2024 yılı CO₂ emisyonu hesabı.

Table 5. CO₂ emission calculation for 2024 according to IPCC Tier 1 and DEFRA approaches.

		Yakıtlar	CO ₂ Salınımı (kg)	CH ₄ Salınımı (kg)	N ₂ O Salınımı (kg)	CO _{2e} Salınımı (kg)
IPCC Tier 1 Yaklaşımı	Kapsam 1	Doğalgaz	47.181,08	608,37	724,39	48.513,85
	Kapsam 2	Elektrik	62.800	94,20	373,49	63.267,69
	Kapsam 3	Motorin	19.119,76	17,83	1271,42	20.409,01
		Benzin	4319,7	9,35	557,26	486,31
		LPG	321,63	0,11	6,34	328,08
		Toplam CO₂ emisyonu				137.404,94
DEFRA Yaklaşımı	Kapsam 1	Doğalgaz	47.215,44	3.204,12	763,87	51.183,43
	Kapsam 2	Elektrik	24.287,33	12,25	101,12	24.400,70
	Kapsam 3	Motorin	22034,95	19,62	1.270,89	23325,46
		Benzin	4950,55	10,77	557,26	5518,58
		LPG	392,34	0,11	6,34	398,79
		Toplam CO₂ emisyonu				104.826,96

Şekil 4'te IPCC Tier 1 metoduna göre hesaplanmış tüm yakıtlara ait emisyon ısı dağılımı haritası verilmiştir.



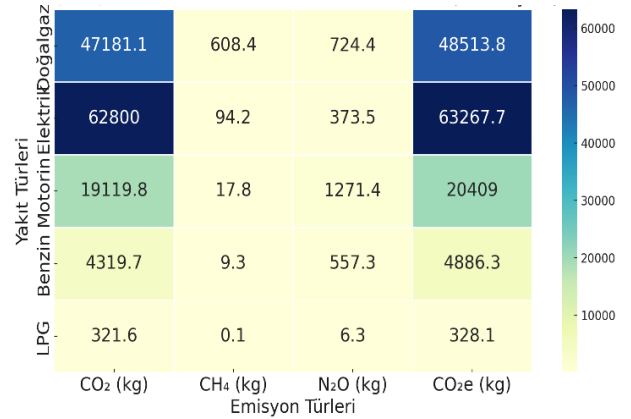
Şekil 4. IPCC Tier 1'e göre emisyon dağılımı ısı haritası.

Figure 4. Emission distribution heat map according to IPCC Tier 1.

Ayrıca aynı tüketim değerleri ile Birleşik Krallık Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı'nın (Department for Environment, Food ve Rural Affairs, DEFRA) yayımladığı sera gazı emisyon hesaplama yöntemine göre de hesaplama yapılmıştır. Tablo 5 incelendiğinde IPCC Tier 1 metodunda olduğu gibi Kapsam 1 içinde yapılan hesaplamalarda doğalgaz en fazla karbon emisyonu değerine sahiptir. Bu değer 47.215,44 olarak hesaplanmıştır. Fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonları incelendiğinde en fazla karbon emisyonu değerine 22034,95 kg ile motorinin sahip olduğu görülmektedir. Benzinden kaynaklanan karbon emisyonu miktarı ise 4950,55 kg olarak belirlenmiştir. Son olarak LPG'den kaynaklanan karbon emisyonu fosil yakıtlar içerisindeki en küçük değere sahiptir. Bu değer 392,34 kg olarak hesaplanmıştır. DEFRA yaklaşımına göre yapılan karbon emisyonunda elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar Kapsam 2 altında değerlendirilmiştir. 2024 yılında Gerze MYO'nun elektrik tüketimi toplam 125.600,4 kWh'dır. Buna göre hesaplamalar yapıldığından elektrikten kaynaklanan karbon emisyonunun 24.287,33 kg olduğu belirlenmiştir. Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 altında yapılan karbon emisyonları toplandığında 2024 yılı için Gerze MYO'nun toplam karbon emisyonu 104.826,96 kg olarak bulunmuştur. Şekil 5'te DEFRA metoduna göre yapılmış emisyon ısı dağılımı haritası verilmiştir.

Her iki yöntemle göre de en yüksek karbon emisyonu, doğalgaz tüketimine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, literatürdeki benzer kampüs ölçekli karbon ayak izi çalışmalarını destekler niteliktedir. Kiehle et al., (2023) tarafından Finlandiya'daki bir üniversitede yapılan çalışmada toplam emisyonların %40'ından fazlasının bina ısıtmasında kullanılan doğalgazdan kaynaklandığı rapor edilmiştir. (Kiehle et al.

2023). Benzer başka çalışmada ise, üniversitelerde doğalgaz tüketiminin elektrik ve ulaşımın ardından en yüksek emisyon kaynağı olduğu vurgulanmıştır (Valls-Val & Bovea 2022). Ayrıca, Leal Filho et al. (2019) üniversitelerde enerji tüketiminin önemli bir kısmının doğalgazdan kaynaklandığını ve bunun sürdürülebilirlik stratejilerinde öncelikli bir alan olduğunu belirtmiştir (Leal Filho et al. 2019).



Şekil 5. DEFRA'ya göre emisyon dağılımı ısı haritası.

Figure 5. Emission distribution heat map according to DEFRA.

Elektrik tüketimine bağlı karbon emisyonları, çalışmada ikinci sırada yer almakta olup, özellikle kampüslerde kullanılan aydınlatma, ofis ekipmanları ve ısıtma-soğutma sistemlerinin elektrikle çalışması nedeniyle önemli bir paya sahiptir. Yükseköğretim kurumlarındaki karbon ayak izleri üzerine yapılan son çalışmalar, elektrik tüketimi, ulaşım ve yakıt kullanımının başlıca emisyon kaynakları olduğunu ortaya koymaktadır (Herth & Blok 2023; Paredes et al., 2024; Ridhosari & Rahman, 2020).

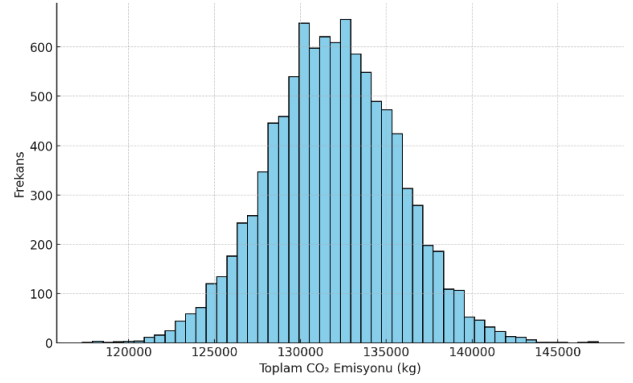
Ayrıca, Türkiye'deki Yükseköğretim kurumlarında yapılan karbon ayak izi analizlerinde, elektrik tüketiminin toplam emisyonların yaklaşık %30'unu oluşturduğu belirtilmiştir (Başoğlu, 2018; Binboğa ve Ünal, 2018; Kmaş et al., 2019; Sreng & Gümrükçüoğlu, 2017).

Ulaşım kaynaklı emisyonlar ise üçüncü sırada yer almakta olup, personel ve öğrenci taşımacılığına dayalıdır. Ulaşım ile ilgili emisyonlar, özellikle toplu taşımanın sınırlı olduğu kırsal alanlarda, yükseköğretim kurumlarının karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Kaiser & Barstow 2022; Oestreich et al. 2024). Özellikle kampüs yerleşkesinden uzak konumlanan meslek yüksekokullarında bireysel araç kullanımının yaygınlığı, ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu durumu ortaya koyan çalışmalar, toplu taşıma seçeneklerinin sınırlı olduğu bölgelerde ulaşım temelli emisyonların daha yüksek olduğunu ve kampüs erişilebilirliğinin karbon ayak izi üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu doğrulamaktadır. Bu bağlamda Gerze

MYO'nun sonuçları, doğalgaz, elektrik ve ulaşımaya bağlı emisyonların azaltılmasının, sürdürülebilir kampüs hedeflerine ulaşmak açısından kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

MYO'nun 2024 yılında su kullanımından kaynaklanan oluşturduğu toplam karbon emisyon salınımı da hesaplanmıştır. Ancak diğer tüketilen enerji kaynaklarına göre oldukça küçük bir değer bulunmuştur. Bu değer kayda bulunmamış ve hesaplama katılmamıştır.

Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan emisyon değerlerinin doğruluğu, hesaplamalarda kullanılan verilerin güvenilirliği ve bu verilerdeki belirsizlik düzeyi ile doğrudan ilişkilidir. Doğalgaz, elektrik ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyon değerleri farklı faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, hesaplamaların belirsizlik düzeylerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Gerze Meslek Yüksekokulu'nun toplam karbon emisyonuna ilişkin hesaplamalarda kullanılan parametrelerin belirsizlik düzeyi, Monte Carlo Simülasyonu ile analiz edilmiştir. Bu yöntem sayesinde, emisyon hesaplamalarında mevcut belirsizliklerin güven aralıkları belirlenmiş ve olası emisyon dağılımı görselleştirilmiştir. Şekil 6'da Monte Carlo Simülasyonu sonucunda elde edilen toplam karbon emisyonu dağılımı gösterilmiştir. 10.000 iterasyon üzerinden yapılan simülasyon sonucunda, toplam emisyon değerlerinin 124.555 kg ile 139.163 kg CO₂ arasında değiştiği ve ortalama emisyon değerinin 131.895 kg CO₂ olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları, hesaplanan toplam emisyon değerinin (%95 güven aralığında) belirsizlik payıyla uyumlu bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Histogramda, emisyon değerlerinin yoğunluğunun 125.000 kg ile 135.000 kg arasında toplandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, veri kaynaklarının tutarlılığını ve ölçüm hassasiyetini göstermektedir. Bununla birlikte, düşük standart sapmalı belirsizlik seviyeleri, hesaplamaların genellikle güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde Monte Carlo Simülasyonları, karbon ayak izi analizlerinde sıkça tercih edilen yöntemlerden biridir. Karbon ayak izi çalışmaları, genellikle girdi verilerinin belirsizliği, modelleme tercihleri ve senaryo seçimlerindeki değişkenlikler nedeniyle önemli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Monte Carlo Simülasyonları; bu belirsizlikleri dağıtarak, sonuçlara ilişkin istatistiksel güven aralıkları sunma imkânı sağlar (Henriksson et al., 2015). Buna ek olarak, hassasiyet analizleri, kullanılan modelleme yaklaşımlarının sağlamlığını test etmede ve belirsizliğin azaltılabileceği kritik noktaların belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Wilting, 2012).



Şekil 6. Monte Carlo simülasyonu.

Figure 6. Monte Carlo simulation.

Ancak, ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar ve enerji tüketimi gibi parametrelerdeki potansiyel dalgalanmaların, hesaplama sonuçlarını etkileme potansiyeline sahip olduğu unutulmamalıdır. Bu tür analizler, karbon ayak izi hesaplamalarında belirsizliğin azaltılmasına yönelik veri kalitesini iyileştirmenin ve enerji verimliliği projelerini optimize etmenin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Sinop Üniversitesi Gerze Meslek Yüksekokulu'nun 2024 yılına ait karbon ayak izi IPCC Tier 1 ve DEFRA yöntemleriyle kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Araştırma, karbon emisyonlarının kaynaklarına dair detaylı bir anlayış sunarak, MYO kampüsünün çevresel etkisini azaltmaya yönelik stratejik hedefler belirlenmesine olanak tanımıştır.

Hesaplamalar, enerji tüketiminin ve ulaşım faaliyetlerinin karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir. Doğalgaz, bina ısıtmasında kullanılan ana yakıt olması nedeniyle en yüksek karbon emisyonuna neden olan kaynak olarak öne çıkmıştır. Elektrik tüketimi ise enerji kaynaklı emisyonlarda ikinci sırada yer almış, özellikle aydınlatma, asansörler ve bilgisayar laboratuvarlarının elektrik tüketiminde büyük rol oynadığı belirlenmiştir. Ulaşım faaliyetleri bağlamında, dizel yakıt kullanan araçların emisyonlara daha yüksek oranda katkıda bulunduğu gözlenmiştir.

Bu bulgular, enerji tüketimi ve ulaşım gibi doğrudan emisyon kaynaklarının yanı sıra, dolaylı emisyonların (örneğin, elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonlar) da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle IPCC Tier 1 ve DEFRA yaklaşımlarının karşılaştırılması, metodolojik farklılıkların sonuçlar üzerindeki etkisini vurgulamıştır.

IPCC Tier 1 ve DEFRA yaklaşımlarının karbon ayak izi hesaplamalarındaki farklılıkları, kullanılan emisyon faktörleri, sera gazlarının kapsamı, elektrik üretiminde bölgesel enerji karışımı, veri detay seviyesi ve hesaplama metodolojisi gibi unsurlar açıklamaktadır.

IPCC Tier 1 yaklaşımı, küresel ortalamalara dayalı standart emisyon faktörlerini kullanarak daha genel bir perspektif sunarken, DEFRA yöntemi bölgesel enerji karışımını ve yerel faktörleri dikkate alarak daha spesifik sonuçlar üretir. Örneğin, DEFRA metodolojisi İngiltere'nin enerji karışımını dikkate alarak elektrik kaynaklı emisyonları daha düşük hesaplayabilirken, IPCC Tier 1 daha genel bir enerji üretim karışımını varsayabilir. Ayrıca, IPCC Tier 1 yaklaşımı temel düzeyde veri kullanarak daha geniş bir karşılaştırma yapmayı hedeflerken, DEFRA yöntemi sera gazlarının yakıt türüne özgü etkilerini ve kullanım şekillerini detaylı bir şekilde ele alır. Bu durum, özellikle metan (CH₄) ve dinitrojen monoksit (N₂O) gibi sera gazlarının emisyon hesaplamalarındaki farklılıklarda belirginleşmektedir. DEFRA, yerel enerji üretim süreçleri ve ulaşım kaynaklı emisyonları daha ayrıntılı bir şekilde analiz ederken, IPCC Tier 1 daha standart ve basitleştirilmiş bir metodoloji sunar. Bu farklılıklar, iki metodolojinin sonuçları arasındaki farkları açıklamakta ve çalışmanın amacı doğrultusunda uygun metodolojinin seçilmesinin önemini vurgulamaktadır. IPCC Tier 1 daha geniş kapsamlı ve uluslararası karşılaştırmalar için uygun bir çerçeve sunarken, DEFRA yöntemi bölgesel analizlerde daha doğru ve detaylı sonuçlar elde etmek için tercih edilebilir.

Sonuç olarak, Gerze MYO'nun karbon ayak izi azaltma stratejileri, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil ulaşım çözümlerinin entegrasyonu gibi kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu analiz, sadece kampüsün çevresel etkisini azaltmayı değil, aynı zamanda öğrenciler ve personel arasında çevresel farkındalık yaratmayı da hedeflemektedir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda, karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik öneriler aşağıda sıralanmıştır:

Özellikle kampüs yerleşkesinden bağımsız konumda bulunan meslek yüksekokulları için karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik yerel düzeyde geliştirilecek uygulanabilir stratejiler büyük önem taşımaktadır. Bu kurumlar, merkezi enerji altyapılarına sınırlı erişim nedeniyle kısa ve orta vadeli hedeflerle etkili sonuçlar elde edebilirler.

Kısa Vadeli Hedefler: LED aydınlatma sistemlerine geçilerek elektrik tüketimi azaltılmalı, gereksiz enerji kullanımını önlemek için görsel uyarı sistemleri ve farkındalık eğitimleri uygulanmalıdır. Bireysel karbon ayak izi ölçüm araçları tanıtılarak öğrenci ve personelde çevresel farkındalık artırılmalıdır. Geri dönüşüm kutularının sayısı artırılarak atıkların ayrıştırılması teşvik edilmeli; özellikle organik atıkların kompostlanması sağlanmalıdır. Enerji tüketimini düzenli izlemeye yönelik basit sayaçlar veya mobil uygulamalar

kullanılabilir. "Enerji Farkındalık Haftası" gibi tematik etkinliklerle kampüs içi katılım ve bilinç artırılabilir.

Orta Vadeli Hedefler: Servis güzergâhları optimize edilmeli, yerel belediyelerle iş birliği yapılarak toplu taşıma entegrasyonu sağlanmalıdır. Kampüs çevresinde güneş paneli destekli dış aydınlatma sistemleri gibi küçük ölçekli yenilenebilir enerji uygulamaları hayata geçirilmelidir. Yapay zeka tabanlı enerji yönetim sistemleri ile enerji tüketimi ve karbon emisyonları izlenmeli, tüketim desenlerine göre optimizasyon yapılmalıdır. Bina yalıtım iyileştirmeleriyle doğalgaz tüketimi azaltılmalı; pencere ve kapı contalarının bakımı da buna entegre edilmelidir. Elektrikli araç şarj istasyonları kurulumu, ileride yapılacak sürdürülebilir ulaşım projeleri için altyapı oluşturacaktır.

Bu tür yerel düzeyde uygulanabilir öneriler, özellikle kırsal bölgelerde yer alan meslek yüksekokullarının da karbon nötrlüğü hedeflerine katkı sunmalarını destekleyecek, çevresel duyarlılık ve enerji verimliliği kültürünün yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Gerze Meslek Yüksekokulu özelinde gerçekleştirilen bu karbon ayak izi analizi, sadece kurumun çevresel etkilerinin belirlenmesi açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik yönetimi ve çevresel farkındalık oluşturulması açısından da önemli bir örnek teşkil etmektedir. Elde edilen veriler, enerji tüketimi, ulaşım ve diğer emisyon kaynakları konusunda alınabilecek azaltım önlemlerine yön verecek niteliktedir. Ayrıca bu çalışma, yükseköğretim kurumlarının sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlama potansiyelini göstermekte olup, benzer kurumlar için yol gösterici niteliktedir. Bu kapsamda, karbon ayak izi analizlerinin yaygınlaştırılması, iklim değişikliğiyle mücadele, enerji verimliliği uygulamaları ve yeşil kampüs politikaları açısından ulusal düzeyde stratejik katkı sunabilecektir.

KAYNAKLAR

- Adamo, N., Al-Ansari, N., & Sissakian, V.K. (2021). Review of Climate Change Impacts on Human Environment: Past, Present and Future Projections. *Engineering*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244741167>
- Akpan, U., & Akpan, G. E. (2012). The Contribution of Energy Consumption to Climate Change: A Feasible Policy Direction. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2, 21-33. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129681378>
- Almeida, J., Verbist, B., Achten, W. M. J., Maertens, M., Muys, B., & Muys, B. (2014). Sustainability in Development Cooperation: Preliminary Findings on the Carbon Footprint of Development Aid Organizations. *Sustainable Development*, 22, 349-359. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53349763>

- Bari, S., Iqbal, A., Rahman, M., & Jat, A. (2023). Probabilistic analysis of transport induced emissions in Melbourne city roads. *SAE Technical Paper*. DOI: 10.4271/2023-01-0890
- Başoğlu, Y. (2018). Akademisyen ve İdari Personelin Ekolojik ve Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 464-70. DOI: 10.21923/jesd.427682
- Belli, A., & Çelik, E.Z. (2022). Sürdürülebilir çevre örneği: Türkiye’de yavaş şehirler (Cittaslow). *Birey ve Toplum Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 63-89. DOI: 10.20493/birtop.1082260
- Binboğa, G., & Ünal, A. (2018). Sürdürülebilirlik Ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi’nin Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Yönelik Bir Araştırma. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 21, 187-202. DOI: 10.18092/ulikidince.323532
- Brodziński, Z., & Kurowska, K. (2021). Cittaslow Idea as a New Proposition to Stimulate Sustainable Local Development. *Sustainability*, 13(9). DOI: 10.3390/su13095039
- Bui, H.T.M., Bui, T., & Pham, B.T. (2024). The Role of Higher Education in Achieving Sustainable Development Goals: An Evaluation of Motivation and Capacity of Vietnamese Institutions. *The International Journal of Management Education*, 22(3), 101088. DOI: 10.1016/J.IJME.2024.101088
- CittaSlow. (2025). CittaSlow. <https://www.cittaslow.org/cittaslow>. (26 Mart 2027)
- Cowie, A., Eckard, R., & Eady, S. (2012). Greenhouse Gas Accounting for Inventory, Emissions Trading and Life Cycle Assessment in the Land-Based Sector: A Review. *Crop and Pasture Science*, 63(3), 284. DOI: 10.1071/CP11188
- EİGM Raporları. (2023). EİGM Raporları - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>. (26 Mart 2027)
- Greenhouse Gas Reporting. (2020). Greenhouse Gas Reporting: Conversion Factors 2020 - GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>. (26 Mart 2027).
- Gupta, A.K. (2014). Monte Carlo Simulations. Pp. 69-80 in *Numerical Methods using MATLAB*. Berkeley, CA: Apress.
- Heijungs, R. (2020). On the Number of Monte Carlo Runs in Comparative Probabilistic LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(2), 394-402. DOI: 10.1007/s11367-019-01698-4
- Henriksson, P.J.G., Heijungs, R., Dao, H.M., Phan, L.T., de Snoo, G.R., & Guinée, J.B. (2015). Product Carbon Footprints and Their Uncertainties in Comparative Decision Contexts. *PLOS ONE* 10(3), e0121221. DOI: 10.1371/journal.pone.0121221
- Herth, A., & Blok, K. (2023). Quantifying Universities’ Direct and Indirect Carbon Emissions – the Case of Delft University of Technology. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 24(9), 21-52. DOI: 10.1108/IJSHE-04-2022-0121
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. General Guidance and Reporting. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (26 Mart 2027).
- IPCC. (2014). AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change - IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> (26 Mart 2027).
- Ivanova, S., Zhidkova, E., & Prosekov, A. (2023). Limiting the Carbon Footprint of an Enterprise: Calculation Methods and Solutions. *Qubahan Academic Journal*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:264955032>
- Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., Bergamaschi, P., Pagliari, V., Olivier, J. G. J., Peters, J. A. H. W., van Aardenne, J. A., Monni, S., Doering, U., Petrescu, A. M. R., Solazzo, E., & Oreggioni, G. D. (2019). EDGAR v4.3.2 Global Atlas of the Three Major Greenhouse Gas Emissions for the Period 1970-2012.
- Kaiser, N., & Barstow, C.K. (2022). Rural Transportation Infrastructure in Low- and Middle-Income Countries: A Review of Impacts, Implications, and Interventions. *Sustainability*, 14(4), 2149. DOI: 10.3390/su14042149
- Karaoğlu, A. (2024). Yapay Zeka ile Çevre Koruma: Orman Yangınları, Sel ve Afet Yönetimi. In *Sürdürülebilir Gelecek İçin Çevre, Enerji ve Yapay Zeka: Küresel Çözümler ve Stratejiler* (1st ed., p. 162). Efe Akademik Yayıncılık. DOI: 10.59617/efepub2024180
- Kiehle, J., Kopsakangas-Savolainen, M., Hilli, M., & Pongrácz, E. (2022). Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. *Journal of Environmental Management*, 329, 117056. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:254956396>
- Kim, K.-D., Ko, H.-K., Lee, T.-J., & Kim, D.-S. (2011). Comparison of Greenhouse Gas Emissions from Road Transportation of Local Government by Calculation Methods. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 27, 405-415.
- Kostić, S., Vasović, N., & Marinković, B. (2017). Robust Optimization of Concrete Strength Estimation Using Response Surface Methodology and Monte Carlo Simulation. *Engineering Optimization* 49(5), 864-77. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1211432
- Kumaş, K., Akyüz, A., & Güngör, A. (2019). Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Yerleşkesi Yükseköğretim Birimlerinin Karbon Ayak İzi Tespiti. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1277-1291. DOI: 10.28948/ngumuh.598212
- Le, T.-T., Pham, B.T., Le, V.M., Ly, H.-B., & Le, L.M. (2020). A Robustness Analysis of Different Nonlinear Autoregressive Networks Using Monte Carlo Simulations for Predicting High Fluctuation Rainfall. Pp. 205-12.
- Leal Filho, W., Vargas, V.R., Salvia, A.L., Brandli, L.L., Pallant, E., Klavins, M., Ray, S., Moggi, S., Maruna, M., Conticelli, E., Ayanore, M.A., Radovic, V., Gupta, B., Sen, S., Paço, A., Michalopoulou, E.,

- Saikim, F.H., Koh, H.L., Frankenberger, F., Kanchanamukda, W., Cunha, D.A., Akib, N.A.M., Clarke, A., Wall, T., & Vaccari, M. (2019). The role of higher education institutions in sustainability initiatives at the local level. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1004-15. DOI: [10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.059](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.059).
- Lokupitiya, E., & Paustian, K. (2006). Agricultural Soil Greenhouse Gas Emissions: A Review of National Inventory Methods. *Journal of Environmental Quality*, 35(4), 1413-27.
- Loyarte-López, E., Barral, M., & Morla, J.C. (2020). Methodology for Carbon Footprint Calculation Towards Sustainable Innovation in Intangible Assets. *Sustainability*, 12, 1-14. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:213049311>
- Nda, M., bin Adnan, M.S., Ahmad, K.A., Usman, N., Razi, M.A.M., & Daud, Z. (2018). A Review on the Causes, Effects and Mitigation of Climate Changes on the Environmental Aspects. *International Journal of Integrated Engineering*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:134840491>
- Oestreich, L., Neuenfeldt Júnior, Á., & Ruiz-Padillo, A. (2024). Guidelines to Promote Sustainable Transport in Higher Education Universities: A Bibliometric and Systematic Review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(8), 1912-28. DOI: [10.1108/IJSHE-07-2023-0266](https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2023-0266)
- Paredes-Canencio, K.N., Lasso, A., Castrillon, R., Vidal-Medina, J.R., & Quispe, E.C. (2024). Carbon Footprint of Higher Education Institutions. *Environment, Development and Sustainability*, 26(12), 30239-72. DOI: [10.1007/s10668-024-04596-4](https://doi.org/10.1007/s10668-024-04596-4)
- Peter, C., Fiore, A., Hagemann, U., Nendel, C., & Xiloyannis, C. (2016). Improving the Accounting of Field Emissions in the Carbon Footprint of Agricultural Products: A Comparison of Default IPCC Methods with Readily Available Medium-Effort Modeling Approaches. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(6), 791-805. DOI: [10.1007/s11367-016-1056-2](https://doi.org/10.1007/s11367-016-1056-2)
- Ridhosari, B., & Rahman, A. (2020). Carbon Footprint Assessment at Universitas Pertamina from the Scope of Electricity, Transportation, and Waste Generation: Toward a Green Campus and Promotion of Environmental Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119172. DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.119172](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119172)
- Setiawan, E.A., & Asvial, M. (2016). Renewable Energy's Role in a Changing World. *International Journal of Technology*, 7, 1280. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:113770202>
- Şevik, S.E.Y., & Şahin, A.D. (2024). Quantifying Sectoral Carbon Footprints in Türkiye's Largest Metropolitan Cities: A Monte Carlo Simulation Approach. *Sustainability*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267985901>
- Shabir, I., Dash, K.K., Dar, A.H., Pandey, V.K., Fayaz, U., & Shivangi Srivastava, R. N. (2023). Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: A comprehensive review. *Future Foods*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:256588026>
- Shivanna, K.R. (2022). Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy. Part A, Physical Sciences*, 88, 160-171. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:248502423>
- Soeder, D.J. (2021). Greenhouse gas sources and mitigation strategies from a geosciences perspective. *Advances in Geo-Energy Research*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:237686474>
- Sreng, R., & Yiğit, M.G. (2017). Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü 2015 Yılı Karbon Ayakizi Çalışması. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 21(5), 1095-1099. DOI: [10.16984/saufenbilder.340009](https://doi.org/10.16984/saufenbilder.340009)
- Tandon, S.K., & Mallik, J. (2018). Links between Energy Usage and Climate: Implications on Increasing CO₂ Emissions and Carbon Capture and Storage. *Current Science*, 114, 1430-1437. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:90928205>
- United Nations. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development United Nations Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. *United Nations*.
- Valls-Val, K., & Bovea, M.D. (2021). Carbon Footprint Assessment Tool For Universities: CO2UNV. *Sustainable Production and Consumption*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244445730>
- Wilting, H.C. (2012). Sensitivity And Uncertainty Analysis In Mrio Modelling; Some Empirical Results With Regard To The Dutch Carbon Footprint. *Economic Systems Research*, 24(2), 141-71. DOI: [10.1080/09535314.2011.628302](https://doi.org/10.1080/09535314.2011.628302)
- Wright, L.A., Coello, J., Kemp, S., & Williams, I.D. (2011). Carbon footprinting for climate change management in cities. *Carbon Management*, 2, 49-60. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:153546752>



Molecular Detection Of *Toxoplasma gondii* And *Cryptosporidium parvum* Oocysts Uptake By Carpet Shell Clams (*Ruditapes decussatus* L.) From İzmir Bay (Türkiye)^{1*}

Esat ÇİLLİ^{1*} Aynur LÖK²

¹Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Türkiye

²Ege University, Faculty of Fisheries, Department of Aquaculture, Türkiye

Received: 04.03.2025

Accepted: 02.06.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: ÇİLLİ, E & LÖK, A. (2025). Molecular Detection Of *Toxoplasma gondii* And *Cryptosporidium parvum* Oocysts Uptake By Carpet Shell Clams (*Ruditapes decussatus* L.) From İzmir Bay (Türkiye). *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, **10**(4), 338-344. <https://doi.org/10.35229/jaes.1650934>

Atıf yapmak için: ÇİLLİ, E & LÖK, A. (2025). İzmir Körfezi (Türkiye) Akivadesleri (*Ruditapes decussatus* L.) Tarafından *Toxoplasma gondii* ve *Cryptosporidium parvum* Ookistlerinin Alımının Moleküler Tespiti. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, **10**(4), 338-344. <https://doi.org/10.35229/jaes.1650934>

* : <https://orcid.org/0000-0002-4325-7039>
 : <https://orcid.org/0000-0002-1043-8028>

*Corresponding author's:

Esat ÇİLLİ
Ege University, Graduate School of Natural and
Applied Sciences, Türkiye
 : esat.cilli@tarimorman.gov.tr

Abstract: The research focused on uptake and accumulation of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum* oocysts in carpet shell clams (*Ruditapes decussatus* L.) from İzmir Bay. Molecular identification of *T. gondii* and *C. parvum* oocysts was carried out by conventional PCR method. The rate of positiveness of *C. parvum* was 3.33 % and of *T. gondii* 4.16 % in 120 pools examined. Statistical analysis revealed slight positive correlation between the monthly rate of positiveness of *C. parvum* and the clam length. However no statistically significant correlation between clam length and *T. gondii* monthly rate of positiveness was detected. Shellfish farming in non polluted seawater, depuration before consumption and strict food safety control for emerging enteric protozoan parasites such as *T. gondii* and *C. parvum* are recommended.

Keywords: Carpet shell clam, *Cryptosporidium parvum*, food safety, *Toxoplasma gondii*, water pollution.

İzmir Körfezi (Türkiye) Akivadesleri (*Ruditapes decussatus* L.) Tarafından *Toxoplasma gondii* ve *Cryptosporidium parvum* Ookistlerinin Alımının Moleküler Tespiti

*Sorumlu yazar:

Esat ÇİLLİ
Veteriner Kontrol Enstitüsü Müdürlüğü, Erzene
mah. Ankara cad. No:172/155 35040,
Bornova/İzmir, Türkiye
 : esat.cilli@tarimorman.gov.tr

Öz: Araştırma, İzmir Körfezi'ndeki akivadeslerde (*Ruditapes decussatus* L.) *Toxoplasma gondii* ve *Cryptosporidium parvum* ookistlerinin alımına ve birikimine odaklanmıştır. *T. gondii* ve *C. parvum* ookistlerinin moleküler tespiti geleneksel PCR yöntemiyle yapıldı. İncelenen 120 havuzda *C. parvum*'un pozitiflik oranı %3,33, *T. gondii*'nin ise %4,16 olarak bulundu. İstatistiksel analiz, *C. parvum*'un aylık pozitiflik oranı ile akivades uzunluğu arasında hafif pozitif bir ilişki olduğunu ortaya çıkardı. Ancak akivades uzunluğu ile *T. gondii*'nin aylık pozitiflik oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmedi. Temiz deniz suyunda kabuklu deniz ürünleri yetiştiriciliği, tüketimden önce arındırma ve *T. gondii* ve *C. parvum* gibi yeni ortaya çıkan enterik protozoan parazitlere yönelik testlerin eklenmesiyle sıkı gıda güvenliği kontrolü tavsiye edilmektedir.

Anahtar kelimeler: akivades, *Cryptosporidium parvum*, gıda güvenliği, su kirliliği, *Toxoplasma gondii*.

INTRODUCTION

In the recent years, the global shellfish aquaculture production has reached the record total production of 18 911 thousand metric tonnes by 2022 year (FAO, 2024) and Türkiye is not an exception in this global trend. Turkish annual shellfish aquaculture production doubled in the recent years and has reached 8 738 tonnes (TÜİK, 2023). This is

due to the increased demand for sustainable aquaculture products whose nutritional importance is gradually gaining pace (FAO, 2024). Consumption of more sustainably produced marine food is the one of the keys addressing global food security and the preservation of global natural fish resources across the world (Lucas et al., 2019). Although, shellfish production owns its advantages in respect to sustainability and food security, the matter with

^{1*} The study presented here was a part of the Esat Çilli's PhD research project in Aquaculture.

Burada sunulan çalışma Esat Çilli'nin Su Ürünleri Yetiştiriciliği alanında yürüttüğü doktora araştırma projesinin bir parçasıdır.

the food safety is more intricate (Rousseau et al., 2018). This is due to the feeding mode of bivalves. Filter feeders such as oysters, clams, mussels, cockles and scallops, in their process of filter feeding can accumulate in their tissues zoonotic pathogenic agents suspended in the sea water. There are numerous reports about accumulation of *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora cayetanensis* and *Giardia duodenalis* oocysts in various shellfish representative species, which pose serious health risks to consumers eating undercooked or raw shellfish (Lindsay et al., 2003; Rousseau et al., 2018). Contracting toxoplasmosis, giardiasis or cryptosporidiosis was undoubtedly demonstrated by feeding experiments of rats with contaminated shellfish (Arkush et al., 2003; Fayer et al., 1998).

Beside imposing food safety risks to the consumers, accumulation of various protozoan oocysts in shellfish has another aspect of consideration, which is the fecal contamination of sea water (Kacar, 2011). Despite its measurement by fecal coliform bacteria presence, it can also be measured by presence of accumulated protozoan oocysts in shellfish. There is ample research work on this subject, stressing the critical issue of fecal contamination in shellfish (Ghozzi et al., 2017).

Although there are a few research projects regarding accumulation of protozoan oocysts in carpet shell clams from the globe and Mediterranean sea, none deal with carpet shell clams from Turkish waters and especially urbanized area of İzmir Bay. In spite of the research conducted on mussels collected from İzmir Bay regarding accumulated protozoan oocysts (Aksoy et al., 2014; Erol et al., 2016), there is a need for further verification of the accumulation in different bivalve aquatic species. In this respect, carpet shell clams from İzmir bay are the ideal alternative species for mussels, and can serve as the additional confirmatory species for sea water pollution in the aforementioned geographical area (Serdar & Lök, 2005).

The present research was aimed to shed light on uptake and accumulation of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum* oocysts in carpet shell clams (*Ruditapes decussatus* L.) from İzmir Bay and further verify this phenomenon in alternative marine bivalve species other than mussels (*Mytilus galloprovincialis*).

MATERIAL AND METHOD

Sample Collection: Since İzmir bay is the only legally open natural bed for collection of carpet shell clams in Türkiye (Anonymous, 2022), it was chosen as the area of sampling (Üçkuyular/İzmir, coordinates: 38°25'11"N 27°02'13"E) (Figure 1)

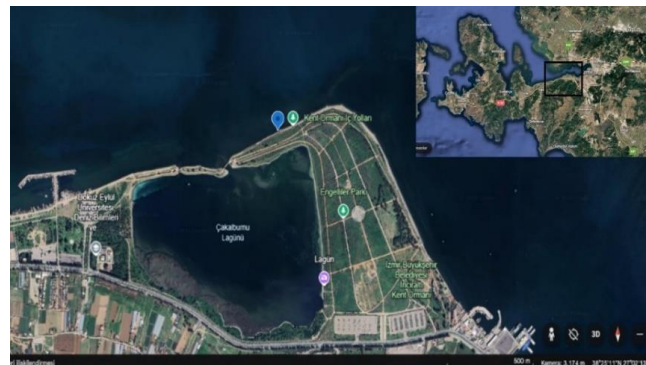


Figure 1. Map image taken from Google Earth program of the point where carpet shell clams were collected.

Each month (12 months, from October 2023 to September 2024), randomly selected samples of 30 carpet shell clams (Figure 2a), total number of 360, provided by local gatherers, were brought to the İzmir/Bornova Veterinary Control Institute Parasitology Laboratory in styrofoam boxes and during the examination were kept at +4 °C.

Each clam length was measured by millimetric ruler (Figure 2b).

With the aid of sterile lancet the adductor muscle of the each clam was cut to open the bivalve and to remove the soft part of it. (Figure 2). Then, the clams were pooled in 10 separate groups each consisting of 3 clam soft tissues (120 pools for the total duration of the research, n=120). Individual pools were collected in sterile plastic tubes and pooled tissues were kept at -20 °C overnight for freezing.

After subsequent thawing, tissues of each pool were mixed with 10 ml sterile phosphate-buffered saline (PBS) and poured in sterile bags for further disintegration of clam tissues via masticator homogenizer device (IUL). Obtained homogenates were collected and transferred to sterile tubes to be kept as 2 ml aliquots at -20 °C for further DNA extractions.

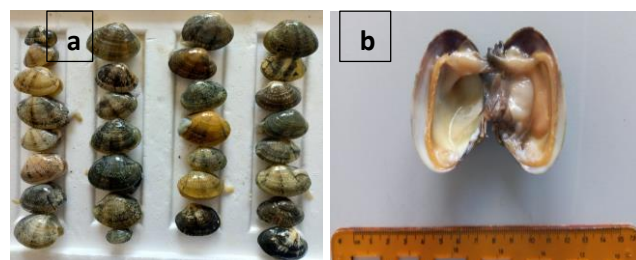


Figure 2. 30 closed(alive) (a) and open(ready) for examination (b) carpet shell clam(s).

Identification of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum* oocysts by conventional PCR: High Pure PCR Template Preparation Kit (Roche) was used appropriately for obtaining genomic DNA of the protozoan oocysts putatively contained in the clam tissue homogenates kept as 2 ml aliquots at -20 °C.

Oligonucleotide primers forward primer DS29 (5'-TTGCCGCGCCCACACTGATG) and reverse primer DS30 (5'-CGCGACACAAGCTGCGATAG), which are specific for *Toxoplasma gondii* and targeted the toxoplasma P30 gene, were used for molecular identification (Savva et al., 1990). The presence of a PCR fragment of 914 bp in length as a result of the test was considered as a positive identification.

Similarly, oligonucleotide primers, forward primer AGG GTG AGA GAG CCA TGA CT and reverse primer CAG TTT GGT TGT GCT CGA GC, specific for *Cryptosporidium parvum* and targeting HSP70 gene, were used for molecular identification (Jarad, 2020). The presence of a PCR product of 429 bp in size as a result of the experiment was accepted as positive.

In the study, reference strains of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum*, isolated from diseased animals and stocked at İzmir Bornova Veterinary Control Institute Parasitology Laboratory, were used as positive controls and nuclease-free water (Fermentas) was used as a negative control.

For both parasites, the procedures for PCR amplifications of the targeted DNA fragments were identical.

PCR amplification of the targeted DNA fragments proceeded as follow: 25 µl reaction mixture was prepared by 5,0 µl DNA template, 2 µl of each forward and reverse primers, 3,5 µl nuclease-free water (Fermentas) and 12,5 µl of Xpert Fast Hotstart Mastermix (2X) with dye (GRISP, Portugal).

The amplification was carried out in Techne TC-412 thermal cycler consisting of following steps: 1) an initial denaturation step of 95°C for 5 minutes, 2) denaturation at 95°C for 30 seconds, 3) annealing at 60°C for thirty seconds 4) extension for sixty seconds at 72°C, 5) final extension for

5 minutes at 72°C. Steps 2-3-4 were repeated as a loop 35 times. After the amplification step, the ladder (GRS Universal Ladder GRISP, Portugal) and each PCR product was mixed with stain (Xpert Green DNA Stain Direct, GRISP, Portugal) and subsequently were subjected to electrophoresis at 85 Volts for 1,5 hours (Thermo, model 4000 PECAY LVD) of 10 µl of each mixture in 2% agarose gel within 1 mM TAE buffer. Images of the agarose gels were taken with the aid of ERBiyotek imaging system.

Calculation the rate of positiveness: The rate of positiveness of the sampled pools was calculated as the number of the positively found pools divided by the total number of examined pools and finally multiplied by 100 ((number of positive pools/total number of pools)X100). The rate of positiveness was expressed as a percentage for each parasite separately.

Statistical analysis: Statistical analyses were carried out on Microsoft Excell with aid of statistical concepts explained by Sümbülüoğlu and Sümbülüoğlu (Sümbülüoğlu ve Sümbülüoğlu, 2016). Each statistical formula was entered manually into Microsoft Excell file. Obtained data from the experimental measurements was initially digitalized and subsequently applied to the formulas. Eventually, the results were recorded electronically. The calculated Pearson correlation coefficients (r) were tested by Student t-test at 95% confidence interval for their statistical significance.

RESULTS

The research showed that at least 9 out of 120 pools of clams collected on monthly basis from İzmir Bay for the time period of an entire year were tested positive for the presence of either *Toxoplasma gondii* or *Cryptosporidium parvum*. The results are shown in Table 1.

Table 1. Morphometric measurements of collected clams along with monthly and annual (overall) positiveness rates of the *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum*.

Month	Number Of Examined Clams	Average Clam Length (±SD)	Percentage (%) of Positive Pools (n=120)	
			<i>Cryptosporidium parvum</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>
October	30	42.69 ± 2.75	10.00	0.00
November	30	38.17 ± 3.54	0.00	0.00
December	30	36.43 ± 2.71	0.00	40.00
January	30	37.23 ± 2.34	0.00	0.00
February	30	37.20 ± 1.58	10.00	0.00
March	30	41.73 ± 4.83	0.00	0.00
April	30	39.17 ± 4.65	0.00	0.00
May	30	39.10 ± 3.19	0.00	0.00
June	30	36.93 ± 3.75	0.00	10.00
July	30	37.40 ± 2.98	10.00	0.00
August	30	38.56 ± 3.23	10.00	0.00
September	30	37.23 ± 5.18	0.00	0.00
Overall rate of positiveness			3.33 (4/120)	4.16(5/120)

Abbreviations: n = number of pools, SD = standart deviation of the mean.

The overall rate of positiveness of *Toxoplasma gondii* was 4.16 %, respectively five positive pools were detected out of 120 pools examined. The presence of a PCR fragment of 914 bp in length in agarose gels was

considered as a positive identification (Figure 3). There was no apparent seasonality in detection of *Toxoplasma gondii* (Table 1).

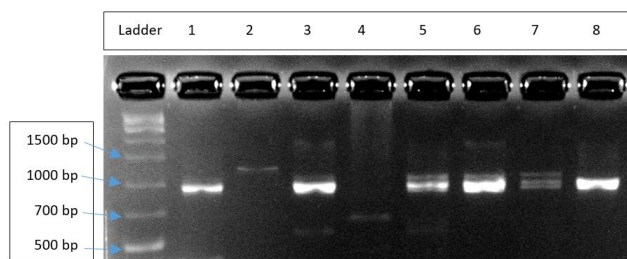


Figure 3. Image of the agarose gel, where DNA of *T. gondii* was detected. Column 1 indicates the positive control, column 2 the negative control. Columns 3-5-6-8 bear DNA fragments of 914 bp in length and indicate positive identification.

The overall rate of positiveness of *Cryptosporidium parvum* was 3,33 %, in other words four positive pools were detected out of 120 pools examined. The presence of a PCR product of 429 bp in size in agarose gels was accepted as a positive result (Figure 4). There was slight seasonality in detection of *Cryptosporidium parvum*, since positive samples were detected mostly in late summer and early autumn (Table 1).

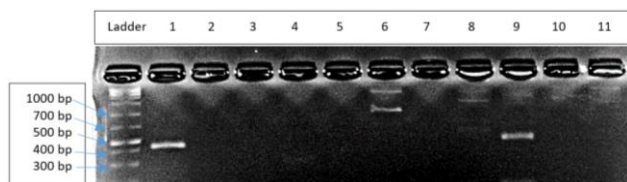


Figure 4. Image of the agarose gel, where DNA of *C. parvum* was detected. Column 1 indicates the positive control, column 2 the negative control. Column 9 bears DNA fragment of 429 bp in length and indicates positive identification.

Statistical analysis revealed slight positive correlation between the monthly positiveness of *Cryptosporidium parvum* and the clam length (Pearson correlation coefficient $r=0,19$). In Student t-test, at 95% confidence interval, the obtained correlation coefficient was regarded as statistically significant, $p<0.05$). No statistically significant correlation between clam length and *Toxoplasma gondii* monthly prevalence was detected ($p>0.05$).

DISCUSSION

The outcome of the present research was molecular detection of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum* DNA by conventional PCR method in the carpet shell clams collected from İzmir Bay. This outcome was anticipated in the report of the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry, which classified sea water of İzmir Bay as class C (Anonymous, 2022) according to its legislation criteria and the bacteriological research conducted by Kacar and Omuzbukan revealing the high fecal coliforms and streptococci loads in the inner part of the bay (Kacar & Omuzbukan, 2017).

There are many research works shedding light on accumulation, survival and viability of infectious parasitic

protozoan oocysts in a number shellfish species (Fayer et al., 1998; Brown et al, 1999; Lindsay et al., 2003; Lindsay & Dubey, 2009; Rousseau et al., 2018). The authors of these research works pointed out that oocysts of *Cryptosporidium parvum*, *Cryptosporidium* spp., *Toxoplasma gondii*, *Giardia intestinalis* and *Giardia muris* can survive long term exposure to sea water without losing their infectivity and viability in shellfish species such as oysters and mussels. This fact makes shellfish potential phoretic agents or paratenic hosts for these emerging protozoan diseases (De Venter, 2000) and stresses the role of the shellfish edible part as the complex food matrix to which the protozoan cysts are attached and transferred to our kitchens (Rousseau et al., 2018).

The issue of public health related to consumption of bivalve mollusc harvested from the Gulf of İzmir and contaminated with parasitic protozoan cysts and viral pathogens was thoroughly investigated by Aksoy et al. (2014) and Erol et al. (2016). Aksoy et al. (2024) found significant part of the mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected from the Gulf of İzmir to be contaminated with *Toxoplasma gondii*. Respectively they found 9.4% overall positiveness for this protozoan parasites which is very close to the result of the present research. However, the method of choice was different and they preferred RealTime PCR for molecular detection and no investigation for the presence of the intestinal zoonotic pathogen *Cryptosporidium parvum* was carried out.

Another aspect of the present research was the correlation of the findings with the sea water pollution in İzmir Bay. According to the Ghazzi et al., (2017), water fecal contamination of the sea coasts can be measured indirectly by using carpet shell clams (*Ruditapes decussatus* L.) as biological indicator. They found at least one of the following parasites *Giardia duodenalis*, *Cryptosporidium* spp., *Toxoplasma gondii* and *Cyclospora cayentanensis* in 6.9% of the examined clams. *Toxoplasma gondii* was found at the positiveness rate of 6.6% but no *Cryptosporidium* spp. was encountered. The present research reached similar results with detection of *Toxoplasma gondii* at the overall positiveness of 4.16 %, with the addition of *Cryptosporidium parvum* detection. Although in both research works the number of examined clams in each pool was different, 9-18 specimen versus 3 specimens in ours and main method of molecular detection qPCR versus conventional PCR in the present study, both research works revealed that mollusk bivalves such as carpet shell clams can accumulate oocysts of protozoan parasites. Unfortunately, pooling of bivalves tissues might have reduced the sensitivity of the applied molecular identification methods. Higher positivity rates could be expected if bivalves are analyzed individually.

Discharged waste domestic and industrial waters from municipality and industrial waste water treatment plants around the Gulf of İzmir, presence of family cattle farms near İnciraltı coast and unusually high number of stray animals in province İzmir might contribute to the parasitic protozoan load in İzmir Bay waters. The problem with stray animals was analysed in the report of Turkish Academy of Sciences (TUBA) stressing the ever increasing risks of zoonotic diseases in Türkiye (Yardımcı, 2024). In this respect, rain water may directly wash the oocysts from open animal farms in İnciraltı district and city streets directly to the Gulf of İzmir.

Statistical analysis revealed slight positive correlation between the monthly positiveness of *Cryptosporidium parvum* and the clam length. This is due to increased capacity of larger clams to filtrate larger volume of sea water and accumulate more oocysts in their gills and digestive tracts. The same phenomenon was observed in mussels from Black sea coast, where Özer and Güneydağ found the positive correlation between mussel size and parasite numbers, respectively larger mussels harboured higher parasite loads (Özer & Güneydağ, 2015). Similar results were obtained by Villalba et al., (2005) during investigation of another protozoan parasite of carpet shell clams - *Perkinsus*. They also found that the number of protozoans is positively correlated with the clam size or age (Villalba et al., 2005). This is important finding from the point of consumption, because table sized clams are the larger ones and can harbour more oocysts of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum*, increasing the risk of contracting the diseases cryptosporidiosis and toxoplasmosis. This problem can be avoided by cleansing the shellfish before marketing.

Cleansing of shellfish can be performed by the method of depuration. Indeed, Da Fonseca et al. (2006) demonstrated that carpet shell clams contaminated with relatively high dose of *C. parvum* were depurated after one day of depuration application. Thus, it is evident that carpet shell clams collected from The Gulf of İzmir and destined for the domestic or foreign markets have to be thoroughly depurated.

Generally, for molecular detection of enteric zoonotic pathogens in shellfish, conventional PCR has not been chosen as the method of choice. Real Time PCR and HRM assay (Aksoy et al. 2014), RT-nested PCR (Erol et al., 2016), qPCR (Ghozzi et al., 2017) and TaqMan PCR (Arkush et al., 2003) were preferred for detection of *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora cayetanensis* and *Giardia duodenalis* oocysts in various shellfish representative species. However, the present method of choice, respectively utilisation of conventional PCR has expanded the portfolio of molecular detection methods of enteric zoonotic pathogens in shellfish. Indeed,

conventional PCR has been successfully used for detection and differentiation of toxigenic cyanobacteria accumulated in various bivalve molluscs destined for human consumption (Dittmann et al., 2017).

To the best of the authors' knowledge, there has not been previous molecular detection of *Cryptosporidium parvum* in shellfish from the Gulf of İzmir. The works of Aksoy et al. (2014) and Erol et al. (2016) were concentrated on molecular detection of *Toxoplasma gondii*, *Cyclospora cayetanensis*, *Microsporidia* spp., hepatitis A virus (HAV) and norovirus (NoV) and that of Kacar (2011) focused on bacterial pathogens such as fecal coliforms and *Salmonella* spp. in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) harvested from the Gulf of İzmir. Thus this is the first report of accumulation of *Cryptosporidium parvum* in bivalve mollusc species in İzmir Bay.

In this research work, the oocysts of the protozoan parasites were not recovered by classical staining methods such as Ziehl-Neelsen Carboll Fuchsin staining for *Cryptosporidium parvum* (Jarad, 2020) or Kato Katz variation of Kinyoun staining for *Toxoplasma gondii* (Meireles et al., 2008). This was due to the role of shellfish as phoretic agents or paratenic hosts for these emerging protozoan diseases, which are not supposed to harbour relatively high concentration of the parasite oocysts as in the case of the final hosts. Instead only detection of the parasite DNA in the sample tissues was performed. However, to ensure food safety and the public health is at the minimum risk, we should accept the worst case scenario approach (Rousseau et al., 2018). In other words, detection of *Cryptosporidium parvum* and *Toxoplasma gondii* DNA in the carpet shell clams should imply the presence of *Cryptosporidium parvum* and *Toxoplasma gondii* viable oocysts and overestimating the risk of contracting the diseases cryptosporidiosis and toxoplasmosis by eating raw or undercooked shellfish.

This research should be accepted as preliminary investigation and in the future, experiments dealing with infection in animal models contracting the diseases cryptosporidiosis and toxoplasmosis by eating raw clams with molecularly confirmed contamination of *Cryptosporidium parvum* and *Toxoplasma gondii* DNA must be performed. In future experiments, instead of pooling the samples, clams must be examined individually to improve the sensitivity of the molecular identification method.

CONCLUSION

The present research shed light on uptake and accumulation of *Toxoplasma gondii* and *Cryptosporidium parvum* oocysts in carpet shell clams from İzmir Bay and further verified this phenomenon in alternative marine bivalve species other than the mussel (*Mytilus*

galloprovincialis). The overall positiveness of *Cryptosporidium parvum* was 3,33 % and that of *Toxoplasma gondii* was 4,16 % in 120 pools examined.

This reinforced the already existing concerns about the growing Turkish shellfish industry and parallel increase of sea water pollution in seas around Türkiye, posing food safety risks for domestic and foreign consumer eating raw or undercooked shellfish.

Shellfish farming in non polluted seawater, depuration before consumption and strict food safety control for emerging enteric protozoan parasites such as *T. gondii* and *C. parvum* are recommended.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors are grateful to the laboratory support provided by İzmir Bornova Veterinary Control Institute staff and especially Dr. Çağatay Nuhay for providing technical support during the PCR experiments.

Author's Contributions: Esat Çilli conceptualised, performed the experiments and wrote the manuscript, Aynur Lök conceptualised and reviewed the manuscript.

Conflict Of Interest: The authors declared that there are no conflicts of interest regarding the publication of this article.

Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry. Neither the Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry can be held responsible for them.

Ethical Approval: Experimental Animals Ethical Committee of İzmir Bornova Veterinary Control Institute, upon application and evaluation of Esat Çilli's PhD proposal "İzmir Körfezinde Akivadeslerde (*Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)) Parazit Faunasının Araştırılması/ Investigation of the Parasite fauna in Grooved Carpet Shell (*Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)) in Izmir Bay", made the decision on 5th September 2023 that there is no need for ethical approval.

Funding: The study presented here was a part of the Esat Çilli's PhD research project in Aquaculture, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ege University, Türkiye with supervisor Professor Dr. Aynur Lök. Funding was provided by the Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry under TAGEM grant scheme for the year 2024 (Project number: TAGEM/HSGYAD/T1/23/A6/P3/6425-İzmir Körfezinde Akivadeslerde (*Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)) Parazit Faunasının Araştırılması).

Data Availability: All relevant data are in the article.

REFERENCES

- Aksoy, U., Marangi, M., Papini, R., Ozkoc, S., Bayram Delibas, S., & Giangaspero, A. (2014). Detection of *Toxoplasma gondii* and *Cyclospora cayentanensis* in *Mytilus galloprovincialis* from İzmir Province coast (Turkey) by Real Time PCR/High-Resolution Melting analysis (HRM). *Food Microbiol.*, **44**, 128-135. DOI: [10.1016/j.fm.2014.05.012](https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.012)
- Anonymous. (2022). Canlı Çift Kabuklu Yumuşakça Üretim Alanları Güncel Listesi (30.03.2022 tarihli güncel liste), Tarım ve Orman Bakanlığı, Available: https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Hayvan_Sinir/cift_kabuklu_yumusakca_uret_im_alanlari.pdf
- Arkush, K.D., Miller, M.A., Leutenegger, C.M., Gardner, I.A., Packham, A.E., Heckerroth, A.R., Tenter, A.M., Barr, B.C., & Conrad, P.A. (2003). Molecular and bioassay-based detection of *Toxoplasma gondii* oocyst uptake by mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Int. J. Parasitol.*, **33**, 1087-1097. DOI: [0.1016/S0020-7519\(03\)00181-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(03)00181-4)
- Brown, T.J., Donaghy, M.J., Keys, E.A., Ionas, G., Learmonth, J.J., Mclenachan, P.A., & Clarke, J.K. (1999). The viability of *Giardia intestinalis* and *Giardia muris* cysts in seawater. *Int. J. Environ. Health. Res.*, **9**, 157-161. DOI: [10.1080/09603129973290](https://doi.org/10.1080/09603129973290)
- Da Fonseca, I.P., Ramos, P.S., Ruano, F.A., Duarte, A.P., Costa, J.C., Almeida, A.C., Falcão, M.L., & Fazendeiro, M.I. (2006). Efficacy of Commercial Cleansing Procedures in Eliminating *Cryptosporidium parvum* Oocysts from Bivalves. *J. Eukaryot Microbiol.*, **53**(S1), 49-51. DOI: [10.1111/j.1550-7408.2006.00170.x](https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2006.00170.x)
- Dittmann, E., Rantala-Ylinen, A., Sivonen, K., Gaga, I., Mankiewicz-Boczek, J., Cirés, S., Ballot, A., Christiansen, G., Kurmayer, R., Ramos, V., Vasconcelos, V., & Saker, M. (2017). Conventional PCR, In: Kurmayer, R., Sivonen, K., Wilmotte, A. & Salmaso, N. (Ed), *Molecular Tools for the Detection and Quantification of Toxigenic Cyanobacteria*, First Edition. John Wiley & Sons Ltd. DOI: [10.1002/9781119332169.ch6](https://doi.org/10.1002/9781119332169.ch6)
- Erol, N., Delibaş, S. B., Özkoç, S., Ergüden, C., & Aksoy, Ü. (2016). Investigation of parasitic and viral pathogens in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the Gulf of Izmir, Turkey. *Saudi Med. J.*, **37**(6), 703-706. DOI: [10.15537/smj.2016.6.15034](https://doi.org/10.15537/smj.2016.6.15034)
- FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. Food and Agricultural Organisation of United Nations. Available:

- <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683en>
- Fayer, R., Graczyk, T.K., Lewis, E.J., Trout, J.M., & Farley, C.A. (1998). Survival of Infectious *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Seawater and Eastern Oysters (*Crassostrea virginica*) in the Chesapeake Bay. *Appl. Environ. Microbiol.*, **64**(3), 1070-074. DOI: [10.1128/aem.64.3.1070-1074.1998](https://doi.org/10.1128/aem.64.3.1070-1074.1998)
- Ghozzi, K., Marangi, M., Papini, R., Lahmar, I., Challouf, R., Houas, N., Ben Dhiab, R., Normanno, G., Babba, H., & Giangaspero, A. (2017). First report of Tunisian coastal water contamination by protozoan parasites using mollusk bivalves as biological indicators. *Mar. Pollut. Bull.*, **117**, 197-202. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2017.01.057](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.057)
- Jarad, N.I. (2020). Molecular detection of *Cryptosporidium parvum* in chicken in Al-Diwaniya province. *Iraqi J. Vet. Sci.*, **34**(2), 441-445. DOI: [10.33899/ijvs.2019.126159.1249](https://doi.org/10.33899/ijvs.2019.126159.1249)
- Kacar, A. (2011). Some microbial characteristics of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in coastal city area. *Environ Sci Pollut Res.*, **18**, 1384-1389. DOI: [10.1007/s11356-011-0487-3](https://doi.org/10.1007/s11356-011-0487-3)
- Kacar, A. & Omuzbiken, B., (2017). Assessing the seawater quality of a coastal city using fecal indicators and environmental variables (eastern Aegean Sea). *Mar. Pollut. Bull.*, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2017.08.052](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.052)
- Lindsay, D.S., Collins, M.V., Sheila, H., Mitchell, M., Cole, R.A., Flick, G.J., Wetch, C.N., Lindquist, A., & Dubey, J.P. (2003). Sporulation and Survival of *Toxoplasma gondii* Oocysts in Seawater. *J. Eukaryot. Microbiol.* **50**(1), 687-688. DOI: [10.1111/j.1550-7408.2003.tb00688.x](https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2003.tb00688.x)
- Lindsay, D.S., & Dubey, J.P., (2009). Long-Term Survival of *Toxoplasma gondii* Sporulated Oocysts in Seawater. *J. Parasitol.*, **95**(4), 1019-1020. DOI: [10.1645/GE-1919.1](https://doi.org/10.1645/GE-1919.1)
- Lucas, J.S., Southgate, P.C., & Tucker, C.S. (2019) *Aquaculture – Farming Aquatic Animals and Plants*. Wiley Blackwell Publication.
- Meireles, L.R., Tsutsui, V.S., Do Carmo, C.V., Galisteo Jr., A.J., Hiramoto, R.M., Katsumi Terentowicz, H.C., & De Andrade Jr, H.F. (2008). Quantitative *Toxoplasma gondii* Oocyst Detection by a Modified Kato Katz Test Using Kinyoun Staining (KKK) In Me49 Strain Experimentally Infected Cats. *Rev. Inst. Med. Trop. S. Paulo*, **50**(3), 187-190. DOI: [10.1590/s0036-46652008000300010](https://doi.org/10.1590/s0036-46652008000300010)
- Özer, A., & Güneydag, S. (2015). Seasonality and host-parasite interrelationship of *Mytilus galloprovincialis* parasites in Turkish Black Sea coasts. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, **95**(8), 1591-1599. DOI: [10.1017/S0025315415000740](https://doi.org/10.1017/S0025315415000740)
- Rousseau, A., La Carbona, S., Dumètre, A., Robertson, L. J., Gargala, G., Escotte-Binet, S., Favenne, L., Villena, I., Gérard, C., & Aubert, D. (2018). Assessing viability and infectivity of foodborne and waterborne stages (cysts/oocysts) of *Giardia duodenalis*, *Cryptosporidium* spp., and *Toxoplasma gondii*: a review of methods. *Parasite*. **25**(14). DOI: [10.1051/parasite/2018009](https://doi.org/10.1051/parasite/2018009)
- Savva D., Morris J.C., Johnson J.D., & Holliman R.E. (1990). Polymerase chain reaction for detection of *Toxoplasma gondii*. *J. Med. Microbiol.*, **32**, 25-31. DOI: [10.1099/00222615-32-1-25](https://doi.org/10.1099/00222615-32-1-25)
- Serdar, S., & Lök, A. (2005). Çakalburnu Dalyanı'ndan Toplanan Akivadeslerin (*Tapes decussatus* L., 1758) Mevsimsel Olarak Gonad Gelişimi. *E.U. J. Fish. Aquat. Sci.*, **22**(3-4), 389-397.
- Sümbüloğlu K. & Sümbüloğlu V. (2016). *Biyoistatistik*, Hatiboğlu Yayınları.
- TÜİK. (2023). *Aquaculture production report*. Turkish Statistical Institute. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>
- Van de Venter, T. (2000). Emerging food-borne diseases: a global responsibility. Food and Agricultural Organisation of United Nations. Available: <https://www.fao.org/4/x7133m/x7133m01.pdf>
- Villalba, A., Casas, S.M., López, C. & Carballal, M.J. (2005). Study of perkinsosis in the carpet shell clam *Tapes decussatus* in Galicia (NW Spain). II. Temporal pattern of disease dynamics and association with clam mortality. *Dis. Aquat. Organ.*, **65**, 257-67. DOI: [10.3354/dao065257](https://doi.org/10.3354/dao065257)
- Yardımcı, H. (2024). Zoonotic Diseases, Transmission Routes And Effects On Public Health, In: Şahin, K. (Ed), *Stray Animals: Social Problems and Public Health*. Turkish Academy of Sciences (TUBA). 119-129p, DOI: [10.53478/TUBA.978-625-6110-02-1](https://doi.org/10.53478/TUBA.978-625-6110-02-1)



Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Twaite Shad Fish Silage

Rifat TEZEL*

Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Fisheries, Department of Aquaculture, Muğla, Türkiye

Received: 27.03.2025

Accepted: 29.05.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Tezel, R. (2025). Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Twaite Shad Fish Silage. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(4), 345-351. <https://doi.org/10.35229/jaes.1666709>

Atıf yapmak için: Tezel, R. (2025). Tirsı Balığı Silajının Besin İçeriği ve Yağ Asidi Kompozisyonu. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(4), 345-351. <https://doi.org/10.35229/jaes.1666709>

* <https://orcid.org/0000-0002-0870-7049>

***Corresponding author's:**

Rifat TEZEL

Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Fisheries, Department of Aquaculture, Muğla, Türkiye

✉: rifattezel@mu.edu.tr

Abstract: The recycling of fish which cannot be used for human consumption and fish processing industry wastes into feed raw materials is an environmentally friendly method that ensures the efficient and sustainable use of resources. In this study, fish silage was prepared from twaite shad fish, which could not been utilised as human food, by using formic acid application and the nutrient content and fatty acid composition of the produced silages were investigated. The dry matter values of the silages varied between 26.14% and 26.63%, crude protein values between 73.79% and 78.55%, and fat values between 5.09% and 5.46%. It was determined that the amount of crude protein decreased in silages produced by using low doses of formic acid ($p<0.05$). Total mono unsaturated fatty acid (MUFA) value of the silages varied between 18.56% and 19.63% and total poly unsaturated fatty acid (PUFA) value varied between 24.74% and 26.35%. Oleic acid (C18:1n9) was the dominant MUFA with an amount ranging from 12.91% to 14.27% and Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n3) was the dominant PUFA with an amount ranging from 16.39% to 17.54%. Σ SFA, Σ MUFA, Σ PUFA, Σ n3 and Σ n6 values were statistically similar in silages with different acid ratios ($p>0.05$). Especially crude protein and PUFA content of the produced silages showed that twaite shad fish silage can be utilised in fish feed. The use of fish silage with valuable nutrient content as feed raw material will provide both economic gain and contribute to the protection of the environment.

Keywords: Aquaculture, environment, fish nutrition, formic acid silage, nutritional value, poly unsaturated fatty acids.

Tirsı Balığı Silajının Besin İçeriği ve Yağ Asidi Kompozisyonu

Öz: İnsan tüketimine sunulamamış balıkların ve su ürünleri işleme sanayi atıklarının, balık silajı olarak yem hammaddesine dönüştürülmesi, kaynakların etkin ve sürdürülebilir kullanımını sağlayan çevre dostu bir yöntemdir. Bu çalışmada, insan gıdası olarak değerlendirilememiş tirsı balıklarından, formik asit uygulamasıyla balık silajı üretimi yapılmış ve üretilen silajın besin içeriği ve yağ asidi kompozisyonu incelenmiştir. Silajların kuru madde içeriği %26,14 ile %26,63 arasında, ham protein miktarı %73,79 ile %78,55 arasında, yağ miktarı ise %5,09 ile %5,46 arasında değişim göstermiştir. Düşük dozda formik asit kullanılarak üretilen silajlarda ham protein miktarının düştüğü belirlenmiştir ($p<0,05$). Silajların toplam tekli doymamış yağ asidi (MUFA) değeri %18,56 ile %19,63 arasında, toplam çoklu doymamış yağ asidi (PUFA) değeri ise %24,74 ile %26,35 arasında değişim göstermiştir. Oleik asit (C18:1n9) %12,91 ile %14,27 arasında değişen miktariyle baskın MUFA, DHA (C22:6n3) ise %16,39 ile %17,54 arasında değişen miktariyle baskın PUFA olarak tespit edilmiştir. Farklı asit oranlarına sahip silajlarda Σ SFA, Σ MUFA, Σ PUFA, Σ n3 ve Σ n6 değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu görülmüştür ($p>0,05$). Üretilen silajların özellikle ham protein ve PUFA içeriği, tirsı balığı silajının balık yemlerinde kullanılabileceğini göstermiştir. Değerli besin içeriğine sahip balık silajının yem hammaddesi olarak kullanılması, hem ekonomik kazanç sağlayacak hem de çevrenin korunmasına katkıda bulunacaktır.

Anahtar kelimeler: Balık besleme, besin değeri, çevre, çoklu doymamış yağ asitleri, formik asit silajı, su ürünleri yetiştiriciliği.

INTRODUCTION

Nowadays, fulfilling the food need in a sustainable manner that arising as a result of the increasing world population is one of the prioritised subject. Effective and sustainable use of existing and potential resources is a

priority in all areas (Güllü et al., 2015). Due to the limited natural resources, the food production sector has to utilise its resources sustainably with maximum benefit. Aquaculture sector, which is one of the leading sectors in meeting the food demand, plays a critical role in ensuring the nutrition of the global population (Ahmed et al., 2019).

The increase in the aquaculture production has led to demand for fish meal and fish oil. Fish meal (FM) is an expensive raw material that increases the feed prices in aquaculture sector (Parisi et al., 2020). Fishmeal and fish oil obtained from pelagic fish is traditionally used feed ingredients used in feed for farmed fish (Olsen & Toppe, 2017). These pelagic fish used for fish meal and fish oil production is generally suitable for human consumption. The use of these fish, which can be used directly as human food, as raw material in feed production is a controversial issue. Furthermore, fishing pressures on natural fish populations are increasing due to the need for fish meal (Ahmed et al., 2019). Therefore, developing novel feed raw materials that can be an alternative to fish meal and fish oil will contribute to the reduction of fishing pressure on natural fish stocks and the sustainable utilisation of limited natural fish populations. Many researchers have stated that the use of fish silage as feed raw material in aquaculture feeds provides economic gains with its high nutritional values (Güllü et al., 2015).

The wastes resulting from industrial processing of aquaculture products are utilised for environmental protection and production of new products (Ramasubburayan et al., 2013). However, the use of unmarketable or non-consumable fish in producing silage will provide both economic values and environmental sustainability. Methodologies to use these materials as a protein source for human consumption are necessary and urgent. Several studies are being conducted with this objective; in the meantime these materials are commonly used in animal product food (Vidotti et al., 2003).

Fish silage is an excellent protein product with high biological value for animal feeding, which can be produced from dead fish, sub-utilized species, by-products from marine fishing, commercial fish waste and industrial residues. These are considered low quality raw materials, that if not used may cause environmental, health, and economical problems (Vidotti et al., 2003). Fish silage can be described as a stable semi-liquid product that produced from fish by-products and the liquefaction occurs by the impact of naturally present proteolytic enzymes in the fish and this process is accelerated by reducing pH below 4.5 (Alwan et al., 1993). In silage production, the pH is reduced below 4.5 and therefore the development of deterioration factors and pathogenic bacteria in fish mince is eliminated due to the low pH (Özkütük & Özyurt, 2022).

Producing fish silage from fisheries industrial processing wastes is a cost-effective method. Silage producing process does not require expensive investments, energy and labour costs and resulting in an ingredient of high biological value that has high levels of protein and energy (Olsen & Toppe, 2017; Özyurt et al., 2019; Santana et al., 2024). In this method, silage is produced from fishery

wastes that are not suitable for human consumption or fish that have lost their consumption properties and the produced fish silage is used as feed raw material in feed industry. There are two main methods currently using in fish silage production. The first one is using fermentation bacteria and the other one is using acid in fish silage production (Güllü vd., 2015). Due to the fact that there is no need for neutralisation of the silage that produced, it is the best option to use formic acid in silage production (Ramasubburayan vd., 2013). Using formic acid in the silage may also contribute to the improved well-being and growth of the farmed animals and fish. Short-chain organic acids like formic acid, are among the candidates that may be used as growth promoters in feeds (Olsen & Toppe, 2017).

In the regions where small-scale fishing activities are carried out, the captured fish are usually sold locally in fisheries cooperatives or small-scale fish markets. In case the fishermen catch more than fish that can be sold locally, the caught products are usually transported to the fish wholesale centres and offered for sale. However, in cases where the amount of products to be sold in wholesale fish market is financially inadequate and the value to be obtained as a result of this sale cannot fulfil the transportation and labour costs, the fished fish products are not sent to wholesale fish markets. In this case, some of the caught fish can be sold locally, while the rest of the fish is discarded. As a result, a product with valuable nutritional content that can actually be consumed by humans turns into garbage that can cause environmental problems. In addition, a significant amount of discard fish are also caught as a result of fishing activities (Kaykaç et al., 2020; Cerim et al., 2022). Although they are target species, sometimes some of them are discarded as a result of deformation on fish due to parasites and other reasons (Kaykaç et al., 2020). The discard fish that can be returned to the nature are immediately released back to the sea by the fishermen. The dead discard species are removed from the nets and either disposed into the sea or disposed into the garbage containers of the municipalities at the piers. Although discarded fish species are not preferred for human consumption, they have significant nutritional content. In fact, fish that have economic value but cannot be offered for sale because they cannot meet the marketing costs, discarded fish species that are not preferred for human consumption and fish processing wastes that arising locally can cause significant environmental risks (Özkütük & Özyurt, 2022). In the era of Blue Growth, in which environmental sensitivity and sustainable growth are aimed, awareness for utilizing these wastes as feed ingredient resources there has been increasing (Olsen & Toppe, 2017).

The present study was aimed to produce feed raw material by using acid silage production technique from twaite shad fish which were caught and could not be sold in small-scale fishing activities. The nutrient composition and fatty acid profile of fish silages produced by using formic acid at different ratios were investigated.

MATERIAL AND METHOD

Silage Preparation: Within the scope of the study, 12 kg twaite shad fish (*Alosa fallax*, Lacepède, 1803) samples were provided from a fisherman in Çeşme District of İzmir Province. Samples were randomly selected from fish that could not be offered for sale and would be discarded. The samples were brought to Muğla Sıtkı Koçman University Faculty of Fisheries and stored at -18 °C until silage was made. Before making silage, fish samples were minced by using a meat grinder with 8 mm diameter holes. The fish mince were then divided into 9 containers, each container containing 1.3 kg of fish mince sample. Each container was randomly selected and allocated into 3 different groups with 3 replicates.

Acid silage was prepared by acidifying the fish mince in each container with three different concentrations (2.5%, 3% and 3.5% (w/v)) of formic acid. The pH value of the silage in each container was monitored with a portable pH meter (Sartorius, PT series). The prepared silages were stored at ambient temperature (20-25 °C). Silage in each container were stirred daily until ripening.

After the 30-day storage period, samples were taken from each container. The proximate composition and fatty acid composition analyses of the samples were carried out.

Proximate Composition Analyses: The proximate composition of silage samples were analysed in triplicate. The lipid content of fish silages were analysed according to the Bligh and Dyer, (1959) method. The moisture and ash content of fish silages were determined according to AOAC, (1990) methods. The crude protein of samples were analysed according to AOAC, (2006) method. The proximate composition of the silages was calculated in terms of dry matter considering the moisture and the dry matter content.

Fatty acids analysis: The methyl esters of lipid obtained from the samples were prepared by transmethylation using gas chromatography-flame ionizing detector (GC-FID) according to the method described by Ichihara et al., (1996). 25 mg of extracted oil was dissolved in 2 ml isooctane, and then 4 ml of 2 M KOH (in methanol) was added. Then, the tube was vortexed for 2 min at ambient temperature. Separation into methyl esters was performed in triplicate for each sample. The samples were centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes, after

that the isooctane layer was taken for gas chromatography (GC) analysis.

The fatty acid methyl esters were analyzed by using a gas chromatography (Agilent Technologies model 7820 equipped with a flame ionization detector (FID) and fitted with an HP-88 capillary column (60 m × 0.25 mm × 0.25 µm thickness)). Helium was used as the carrier gas at a constant pressure of 16 psi. Injection port was maintained at 220°C, and the sample was injected in split mode with a split ratio of 50:1. During the analysis, detector temperature was 280°C. Column temperature was started at 175°C, and then programmed at 3°C/min to 220°C, ramped at 1°C/min to 220°C, and held for 10 min. Identification of fatty acids was carried out by comparing sample fatty acids methyl esters (FAME) peak relative retention times with those obtained for Supelco standards (Supelco 37 Compounds FAME mix 10 mg/l in CH₂ Cl₂-47,885 U, Supelco 1819-1 Ampule FAME mix C4-C24). The results were expressed as percentage of total fatty acid methyl esters (ISO, 1990).

Statistical analysis: The values obtained were determined as mean ± standard deviation (SD) of triplicate groups. Shapiro-Wilk normality test and Levene's test were used to analyse the normality and homogeneity of variance of the data, respectively. Differences in the proximate composition of the groups were statistically analysed by using a Tukey Post-Hoc test following one-way analysis of variance (ANOVA) and a value of 0.05 was assumed as significant for p value. All statistical analysis conducted via using the software SPSS version 22.

RESULTS AND DISCUSSION

In the present study the pH value of fish silages produced via application 2.5%, 3.0% ve 3.5% formic acid was respectively found as 4.33±0.04, 4.12±0.02 ve 3.99±0.03 after 30 days (Figure 1). After the first week of the study, it was observed that the pH value decreased to approximately 4 and remained at this level throughout the study. Liquefaction with formic acid can be carried out in the pH range 4-4.5 due to the antiseptic properties of formic acid (Raeesi et al., 2023). Although the ripening period of the silage varies depending on the characteristics of the raw material used, it was observed that the silage ripening process was completed within 10-12 days, similar to the literature (Güllü et al., 2015; Özkütük & Özyurt, 2022). According to the observations made during this period, it was observed that the fish mince, which initially contained solid pieces, was transformed into a more fluid, homogeneous product over time (Figure 2). In addition, in all groups stored at ambient temperature (20-25 °C), it was noted that the odour was an acceptable pleasant malt odour (Güllü et al., 2015).

Ramasubburayan et al., (2013) was found the pH value of grouper *Epinephelus malabaricus* processing waste silages that prepared via 2%, 2.5% ve 3% formic acid application as 3.98 ± 0.40 , 3.60 ± 0.30 and 3.42 ± 0.04 respectively, at the end of 30 days. The pH value of silages were found higher than that was found by Ramasubburayan et al., (2013). It is considered that this difference is due to the characteristics of the raw material used in silage production.

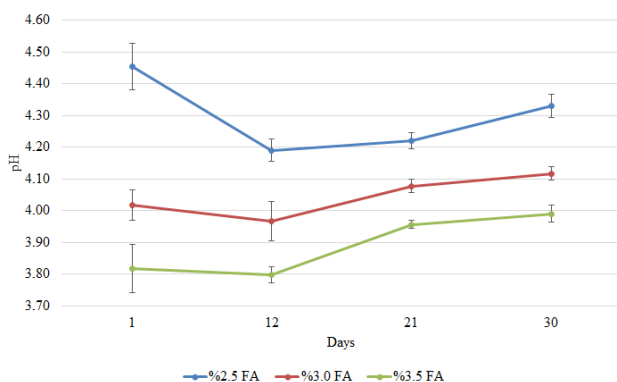


Figure 1. pH values of the silages produced.



Figure 2. Sample image of twaite shad fish silage before and after ripening.

In the present study, the dry matter content of the produced silages were found to be approximately 26% (Table 1). Goddard and Al-Yahyai, (2001) was found that the dry matter content of silages between 21.7-26.8% that were prepared from sardine fish (*Sardinella longiceps*) by using the mixture of formic acid and propionic acid. Ramasubburayan et al., (2013) was found the dry matter content of processing waste silage at the end of 30 days was between 9.33% and 19.14%. The dry matter content of silage may vary depending on the method applied. In addition, water evaporation occurring during the silage production process is also effective on the dry matter content. Ramasubburayan et al., (2013) reported that, there was a significant decrease in the dry matter content of the 2% formic acid silage, unlike the low amount of reduction in 2.5% and 3% formic acid silages at the end of the 30-day silage production process. They stated that this may be due to hydrolysis of the proteins used as a result of enzyme or microorganism activity. In the present study, there was

no statistically significant difference in the dry matter content of the groups.

In this study, the crude protein content of silages were found between $73.79 \pm 1.09\%$ and $78.55 \pm 1.05\%$ (Table 1). The protein values of the silages were statistically different ($p < 0.05$). It was noticed that the protein level of produced silages was varied depending on the amount of acid used. In this study, this situation may be occurred as a result of protein hydrolysis (Ramasubburayan et al., 2013). It was seen that the amount of acid applied is very important for protein hydrolysis. In the literature, the protein contents of the produced silages from different raw materials were reported as 66.9-72.5% by Goddard and Al-Yahyai, (2001), 36.06-38.40% by Ramasubburayan et al., (2013), 13.3% by Santana et al., (2023) and 24% by Santana et al., (2024). It is an evident that the amount of protein can vary significantly depending on the raw material from which the silage is produced. Considering that the produced silages will be used as a substitute for fish meal, it would be appropriate to compare the protein content with the protein values of fish meal. Turan et al., (2007) reported the crude protein value in anchovy meal as 74-76%, Guo et al., (2020) reported the protein value in anchovy meal as 68.3%, Soto et al., (2023) reported the crude protein value in anchovy (*Engraulis ringens*) meal as 68.1%, Bayraklı, (2023) reported the protein value in salmon by-products meal as 65.22%. As a consequence of the comparison of the protein value of the produced silage with the literature reports, it was seen that this product can be utilised as a substitute partly for fish meal.

Table 1. Proximate composition of fish silages.

	2.5% FA Silage	3.0% FA Silage	3.5% FA Silage
Dry matter (%)	26.26 ± 0.40^a	26.14 ± 0.60^a	26.63 ± 0.22^a
Protein (%) DM	73.79 ± 1.09^a	77.87 ± 1.90^b	78.55 ± 1.05^b
Lipid (%) DM	5.16 ± 0.51^a	5.46 ± 0.23^a	5.09 ± 0.14^a
Ash (%) DM	17.35 ± 0.10^a	15.80 ± 1.36^a	17.16 ± 1.04^a

DM: Dry matter, FA: Formic acid, Each value is given as the mean $\pm$ standard deviation of three replicate samples, Values with different letters in the same row indicate significant differences between the groups ($P < 0.05$).

The lipid amounts of silages were found between $5.09 \pm 0.14\%$ and $5.46 \pm 0.23\%$ in this present study (Table 1). In previous studies, the lipid amount of silages produced by using different raw materials was found as 11.5% by Goddard and Al-Yahyai, (2001), 10.66-12.24% by Ramasubburayan et al., (2013), 69.9% by Santana et al., (2023) and 24% by Santana et al., (2024). The lipid amounts of fish meal that produced from different raw materials were reported as 8-9% by Turan et al., (2007), 8.53% by Guo et al., (2020), 9.28% by Bayraklı, (2023) and 8.7% by Soto et al., (2023). In the present study, lipid content of silages was lower than previous studies. It is thought that the lipid value is lower than previous studies due to seasonal conditions, nutritional characteristics and various other factors (Metin et al., 2022).

In this study, the ash content of silages were between 17.35 ± 0.10 and 15.80 ± 1.36 (Table 1). The ash content of formic acid silages did not show any statistical difference between the groups ($p > 0.05$). The crude ash refers to the total inorganic matter in a raw material. The crude ash values determined in fish silages are due to the head, scales, bones and similar parts in fish (Özkütük & Özyurt, 2022). In the present study, although some difference was observed between the ash amounts of silages produced by using acid at different ratios, this difference was not statistically significant. This indicates that the amount of acid used in the present study had no effect on the inorganic matter composition of silage.

In the present study, total saturated fatty acids (Σ SFA) values of the produced silages were found between 50.24% and 52.40% (Table 2). In previous studies, Σ SFA values of acid silages produced using different raw materials were reported as 40.3% by Özyurt et al., (2016), and 43.6% by Santana et al., (2023). Turan et al., (2007) reported that Σ SFA value in anchovy meal was found as 33%. Similar to the studies in the literature, the predominant saturated fatty acids found in the silages was palmitic acid (C16:0) (Tezel et al., 2016; Özyurt et al., 2016).

In this research, total mono unsaturated fatty acid (Σ MUFA) values were found between 18.56% and 19.63% (Table 2). In previous studies, Σ MUFA values were reported as 24.4% in Klunzinger's ponyfish silage by Özyurt et al., (2016) and 20-21% in anchovy meal by Turan et al., (2007). Oleic acid (C18:1n9) was found to be the dominant mono unsaturated fatty acid in silages. The obtained data shows that Σ MUFA values are in compliance with the literature.

Fish oils are rich sources of poly unsaturated fatty acids (PUFA). Metin et al., (2022) reported that the Σ PUFA content was 40.34% in the flesh of sea bass that produced in aquaculture conditions. This indicates that fish in aquaculture should be fed with feeds with high PUFA values. The Σ PUFA values of the silages produced in this study were found between 24.74% and 26.35% (Table 2). In the literature, Σ PUFA value was reported by Tezel et al., (2016) as 24-26% for whole pearl mullet and silages produced from processing wastes of this fish, by Özyurt et al., (2016) as 14.3% for Klunzinger's ponyfish silage, by Santana et al. (2023) as 10.9% for silage produced from fish processing wastes, by Turan et al., (2007) as 31-32% for anchovy meal. Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n3) was the dominant PUFA in fish silages. Özyurt et al., (2016) reported the ratio of n3:n6 fatty acids as 10.5 for formic acid silage. Similar results were obtained in the present study. It was observed that the Σ SFA, Σ MUFA, Σ PUFA, Σ n3 and Σ n6 values in silages with different acid ratios were statistically similar ($p > 0.05$). In the study, it was observed that the amount of formic acid used in silage production did not have a significant effect on the fatty acid profile except some parameters.

In terms of nutrition, fish meat is a very important foodstuff due to the high-quality protein and fatty acid values (Metin et al., 2022). Fish has always been considered as an important nutritional food and has always maintained an important position in the common diet recommendations and animal feed rations. This is mainly due to their high protein content as well as being an important source of poly unsaturated fatty acids (Özkütük & Özyurt, 2022). In the present study, it is shown that especially the crude protein and PUFA content of the produced silage is a suitable feed raw material that can be utilised in fish feeds.

In conclusion making silage from the fish that have economic value but cannot be offered for sale because they cannot meet the marketing costs, discarded fish species that are not preferred for human consumption and fish processing wastes is very important. The utilisation of these products with valuable nutritional content will both create economic gains and also contribute to the protection of the environment. In regions where small-scale fishing activities are carried out, it is very important to utilise these wastes with the participation of cooperatives or local administrations.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank Assoc. Prof. Dr. Yunus ALPARSLAN for his kind support in the laboratory analyses carried out within this study.

Table 2. Fatty acid composition of fish silages.

Fatty Acids	2.5% FA Silage	3.0% FA Silage	3.5% FA Silage
C6:0	1.27 $\pm$ 0.11 ^b	1.00 $\pm$ 0.05 ^a	1.32 $\pm$ 0.02 ^b
C8:0	0.46 $\pm$ 0.08 ^a	0.35 $\pm$ 0.06 ^a	0.62 $\pm$ 0.01 ^b
C14:0	5.52 $\pm$ 0.02 ^a	5.56 $\pm$ 0.10 ^a	5.39 $\pm$ 0.39 ^a
C16:0	29.38 $\pm$ 0.44 ^a	28.61 $\pm$ 0.65 ^a	29.20 $\pm$ 0.24 ^a
C17:0	1.68 $\pm$ 0.01 ^b	1.67 $\pm$ 0.04 ^b	1.57 $\pm$ 0.02 ^a
C18:0	12.42 $\pm$ 0.55 ^a	12.08 $\pm$ 0.36 ^a	13.38 $\pm$ 0.64 ^a
C24:0	1.00 $\pm$ 0.05 ^a	0.97 $\pm$ 0.06 ^a	0.93 $\pm$ 0.00 ^a
Σ SFA	51.72 $\pm$ 1.09 ^a	50.24 $\pm$ 1.30 ^a	52.40 $\pm$ 0.01 ^a
C14:1	1.48 $\pm$ 0.00 ^a	1.52 $\pm$ 0.04 ^a	1.45 $\pm$ 0.09 ^a
C16:1	4.17 $\pm$ 0.02 ^a	4.06 $\pm$ 0.08 ^a	3.92 $\pm$ 0.28 ^a
C18:1n9	12.91 $\pm$ 0.01 ^a	13.89 $\pm$ 0.54 ^{ab}	14.27 $\pm$ 0.53 ^b
Σ MUFA	18.56 $\pm$ 0.01 ^a	19.47 $\pm$ 0.42 ^a	19.63 $\pm$ 0.90 ^a
C18:2n6	2.40 $\pm$ 0.13 ^a	2.40 $\pm$ 0.07 ^a	2.27 $\pm$ 0.09 ^a
C20:3n3	1.59 $\pm$ 0.10 ^{ab}	1.46 $\pm$ 0.05 ^a	1.63 $\pm$ 0.01 ^b
C20:5n3	4.81 $\pm$ 0.22 ^b	4.81 $\pm$ 0.04 ^b	4.44 $\pm$ 0.04 ^a
C22:6n3	17.54 $\pm$ 0.66 ^a	17.40 $\pm$ 0.51 ^a	16.39 $\pm$ 1.12 ^a
Σ PUFA	26.35 $\pm$ 1.10 ^a	26.07 $\pm$ 0.52 ^a	24.74 $\pm$ 1.18 ^a
Undefined	3.37 $\pm$ 0.01 ^a	4.22 $\pm$ 1.40 ^a	3.24 $\pm$ 0.28 ^a
Σ n3	23.94 $\pm$ 0.97 ^a	23.67 $\pm$ 0.59 ^a	22.47 $\pm$ 1.08 ^a
Σ n6	2.40 $\pm$ 0.13 ^a	2.40 $\pm$ 0.07 ^a	2.27 $\pm$ 0.09 ^a
n3/n6	9.96 $\pm$ 0.12 ^a	9.86 $\pm$ 0.51 ^a	9.90 $\pm$ 0.08 ^a

C6:0 Caproic acid, C8:0 Caprylic acid, C14:0 Myristic acid, C16:0 Palmitic acid, C17:0 Heptadecanoic acid, C18:0 Stearic acid, C24:0 Lignoseric acid, Σ SFA Total saturated fatty acids, C14:1 Myristoleic acid, C16:1 Palmitoleic acid, C18:1n9 Oleic acid, Σ MUFA Total mono unsaturated fatty acids, C18:2n6 Linoleic acid, C20:3n3 Eicosatrienoic acid, C20:5n3 Eicosapentaenoic acid, C22:6n3 Docosahexaenoic acid, Σ PUFA Total poly unsaturated fatty acids, Σ n3 Total n3 fatty acids, Σ n6 Total n6 fatty acids. Each value is given as the mean $\pm$ standard deviation of three replicate samples. Values with different letters in the same row indicate significant differences between the groups ($P < 0.05$).

REFERENCES

- Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental Management*, **63**, 159-172. DOI: [10.1007/s00267-018-1117-3](https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3)
- Alwan, S.R., Buckley, D.J., & O'Connor, T.P. (1993). Silage from fish waste: Chemical and microbiological aspects. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, **32**(1), 75-81.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Washington, D.C., USA.
- AOAC. (2006). Crude protein in meat. In Official methods of analysis (17th ed.) 984.13. Gaithersburg, Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Washington, D.C., USA.
- Bayraklı, B. (2023). Utilization of fish by-products for sustainable aquaculture: Nutritional analysis of fishmeal derived from the by-products of *Oncorhynchus mykiss*. *Menba Journal of Fisheries Faculty*, **9**(2), 8-14. DOI: [10.58626/menba.1360875](https://doi.org/10.58626/menba.1360875)
- Bligh, E.G., & Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, **37**, 911-917. DOI: [10.1139/o59-099](https://doi.org/10.1139/o59-099)
- Cerim, H., Yapici, S., Reis, İ., & Ates, C. (2022). Southern aegean sea trawl fishery; Discard ratio and mortality of targeted species. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, **38**, 157-169. DOI: [10.1007/s41208-021-00388-z](https://doi.org/10.1007/s41208-021-00388-z)
- Goddard, J.S., & Al-Yahyai, D.S.S. (2001). Chemical and nutritional characteristics of dried sardine silage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **10**(4), 39-50. DOI: [10.1300/J030v10n04_04](https://doi.org/10.1300/J030v10n04_04)
- Güllü, K., Güzel, S., & Tezel, R. (2015). Producing silage from the industrial waste of fisheries. *Ekoloji*, **24**(95), 40-48. DOI: [10.5053/ekoloji.2015.03](https://doi.org/10.5053/ekoloji.2015.03)
- Guo, J., Swanepoel, A., Qiu, X., Reis, J., Rhodes, M., & Davis, D.A. (2020). Use of salmon by-product meals as a replacement for anchovy meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, **26**, 490-501. DOI: [10.1111/anu.13011](https://doi.org/10.1111/anu.13011)
- Ichihara, K., Shibahara, A., Yamamoto, K., & Nakayama, T. (1996). An improved method for rapid analysis of the fatty acids of glycerolipids. *Lipids*, **31**, 535-539. DOI: [10.1007/BF02522648](https://doi.org/10.1007/BF02522648)
- ISO. (1990). Animal and vegetable fats and oils-analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids. EN ISO 5508.
- Kaykaç, M.H., Aydın, C., & Tosunoğlu, Z. (2020). Gillnets and entangling nets fishery in the Gulf of Fethiye. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **5**(4), 506-515. DOI: [10.35229/jaes.760334](https://doi.org/10.35229/jaes.760334)
- Metin, C., Alparslan, Y., Ekşi, Z., & Baygar, T. (2022). Effects of different thawing methods on fatty acid composition of cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **39**(3), 206-214. DOI: [10.12714/egejfas.39.3.05](https://doi.org/10.12714/egejfas.39.3.05)
- Olsen, R.L., & Toppe, J. (2017). Fish silage hydrolysates: Not only a feed nutrient, but also a useful feed additive. *Trends in Food Science and Technology*, **66**, 93-97. DOI: [10.1016/j.tifs.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.003)
- Özkütük, A.S., & Özyurt, G. (2022). Balık silajı üretimi için basit bir yöntem: İnokulum olarak yoğurt kullanımı. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **39**(3), 253-260. DOI: [10.12714/egejfas.39.3.11](https://doi.org/10.12714/egejfas.39.3.11)
- Özyurt, G., Gökdoğan, S., Şimşek, A., Yuvka, I., Ergüven, M., & Kuley Boga, E. (2016). Fatty acid composition and biogenic amines in acidified and fermented fish silage: a comparison study. *Archives of Animal Nutrition*, **70**(1), 72-86. DOI: [10.1080/1745039X.2015.1117696](https://doi.org/10.1080/1745039X.2015.1117696)
- Özyurt, G., Özkütük, A.S., Uçar, Y., Durmuş, M., & Ozogul, Y. (2019). Evaluation of the potential use of discard species for fish silage and assessment of its oils for human consumption. *International Journal of Food Science and Technology*, **54**(4), 1081-1088. DOI: [10.1111/ijfs.13954](https://doi.org/10.1111/ijfs.13954)
- Parisi, G., Tulli, F., Fortina, R., Marino, R., Bani, P., Zotte, A.D., De Angelis, A., Piccolo, G., Pinotti, L., Schiavone, A., Terova, G., Prandini, A., Gasco, L., Roncarati, A., & Danieli, P.P. (2020). Protein hunger of the feed sector: The alternatives offered by the plant world. *Italian Journal of Animal Science*, **19**, 1204-1225. DOI: [/10.1080/1828051X.2020.1827993](https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1827993)
- Raeesi, R., Shabanpour, B., & Pourashouri, P. (2023). Use of fish waste to silage preparation and its application in animal nutrition. *Online Journal of Animal and Feed Research*, **13**(2), 79-88. DOI: [10.51227/ojaf.2023.13](https://doi.org/10.51227/ojaf.2023.13)
- Ramasubburayan, R., Iyapparaj, P., Subhashini, K.J., Chandran, M.N., Palavesam, A., & Immanuel, G. (2013). Characterization and nutritional quality of formic acid silage developed from marine fishery waste and their potential utilization as feed stuff for common carp *Cyprinus carpio* Fingerlings. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **13**, 281-289. DOI: [10.4194/1303-2712-v13_2_10](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_2_10)
- Santana, T.M., Dantas, F.d.M., Monteiro Dos Santos, D.K., Kojima, J.T., Pastrana, Y.M., De Jesus, R.S., & Gonçalves, L.U. (2023). Fish viscera silage: Production, characterization, and digestibility of nutrients and energy for tambaqui juveniles. *Fishes*, **8**(2), 111. DOI: [10.3390/fishes8020111](https://doi.org/10.3390/fishes8020111)
- Santana, T.M., Dantas, F.M., Prestes, A.G., Jerônimo, G.T., da Costa, J.I., dos Santos, D.K.M., Pastrana Y.M., Yamamoto F.Y., & Gonçalves, L.U. (2024). Evaluation and economic analysis of fermented fish viscera silage in diets for tambaqui (*Colossoma macropomum*) and its effects on the physical quality of pellets, growth performance,

health parameters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **108**(6), 1665-1677. DOI: [10.1111/jpn.13999](https://doi.org/10.1111/jpn.13999)

Soto, J., Ipanaqué, W., La-Rosa, G., & Paiva, E. (2023). Spectral signature for quality assessment of anchovy fish meal (*Engraulis Ringens*) using partial least squares. *IEEE Latin America Transactions*, **21**(2), 200-206. DOI: [10.1109/TLA.2023.10015212](https://doi.org/10.1109/TLA.2023.10015212)

Tezel, R., Güllü, K., Alişarlı, M., Ekici, K., & Güzel Ş. (2016). A study on chemical and microbiological composition of silage made of industrial fisheries processing waste. *Mugla Journal of Science and Technology*, **2**(1), 30-37. DOI: [10.22531/muglajsci.269969](https://doi.org/10.22531/muglajsci.269969)

Turan, H., Kaya, Y., & Erkoyuncu, İ. (2007). Protein and lipid content and fatty acid composition of anchovy meal produced in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, **31**(2), 113-117.

Vidotti, R.M., Viegas, E.M.M., & Carneiro, D.J. (2003). Amino acid composition of processed fish silage using different raw materials, *Animal Feed Science and Technology*, **105**, 199-204. DOI: [10.1016/S0377-8401\(03\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00056-7)



Rize Kent Merkezinde Kentsel Gelişimin Yeşil Alanlara Etkisi: 2009–2024 Yılları Arasında Zamansal Bir Değerlendirme^[*]

Gülçay ERCAN OĞUZTÜRK^a Çağla SAĞIR^b Turan YÜKSEK^c Ali Erdem ÖZÇELİK^d
Ömer Lütfü ÇORBACI^e Türker OĞUZTÜRK^{f*}

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 10.04.2025

Kabul Tarihi: 26.05.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Ercan Oğuztürk, G., Sağır Ç., Yüksek, T., Özçelik, A.E., Çorbacı, Ö.L., & Oğuztürk, T. (2025). Rize Kent Merkezinde Kentsel Gelişimin Yeşil Alanlara Etkisi: 2009–2024 Yılları Arasında Zamansal Bir Değerlendirme. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(4), 352-359. <https://doi.org/10.35229/jaes.1672813>

How to cite: Ercan Oğuztürk, G., Sağır Ç., Yüksek, T., Özçelik, A.E., Çorbacı, Ö.L., & Oğuztürk, T. (2025). The Impact of Urban Development on Green Spaces in Rize City Center: A Temporal Assessment Between 2009 and 2024. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(4), 352-359. <https://doi.org/10.35229/jaes.1672813>

: <https://orcid.org/0000-0002-0893-4719>
 : <https://orcid.org/0009-0007-8145-1899>
 : <https://orcid.org/0000-0003-2964-1760>
 : <https://orcid.org/0000-0001-5877-1738>
 : <https://orcid.org/0000-0002-8763-3163>
 : <https://orcid.org/0000-0002-9611-9959>

***Sorumlu yazar:**

Türker OĞUZTÜRK
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj
Mimarlığı Bölümü, Rize, Türkiye
✉: turker.oguzturk@erdogan.edu.tr

Abstract: Bu çalışmanın amacı, 2009 ve 2024 yılları arasında Rize kent merkezindeki yeşil alanlarda meydana gelen zamansal değişimin incelenmesidir. Araştırmada, konut gelişimi ve ulaşım ağının genişlemesi gibi kentleşme dinamiklerinin yeşil alanlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, ilgili yıllara ait uydu görüntüleri ve yerel yönetim arşiv verileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş; yeşil alanların fiziksel büyüklüklerindeki değişimler nicel olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, kentsel büyümenin şehir merkezindeki yeşil dokuyu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Nitekim 2009–2024 yılları arasında incelenen mahallelerde yeşil alanların toplamda %23,7 oranında azaldığı, mahalle bazında ise bu azalmanın %2,64 ile %13,56 arasında değiştiği belirlenmiştir. Mahalle bazında en fazla yeşil alan azalması %13,56 ile Tophane mahallesinde, en az yeşil alan azalması %2,64 ile Ekrem Orhon mahallesinde meydana gelmiştir.

Bu durum, kentsel biyoçeşitlilik, hava kalitesi ve genel yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Çalışma, Rize kenti özelinde sürdürülebilir kentsel planlama yaklaşımlarının geliştirilmesi ve yeşil alanların korunmasına yönelik bütüncül stratejilerin uygulanması gerektiğine dikkat çekmektedir.

Anahtar kelimeler: Arazi kullanımı, kentsel yeşil alanlar, Rize, sürdürülebilir kent planlaması, zamansal değişim.

The Impact of Urban Development on Green Spaces in Rize City Center: A Temporal Assessment Between 2009 and 2024

Öz: The aim of this study is to examine the temporal changes in green spaces within the city center of Rize between the years 2009 and 2024. The research evaluates the impacts of urbanization Dynamics such as residential development and the expansion of transportation networks on green areas. Satellite imagery and municipal archive data from the respective years were comparatively analyzed, and quantitative changes in the physical extent of green spaces were identified. The findings indicate that urban growth has significantly reduced the green infrastructure in the city center. Specifically, it was determined that between 2009 and 2024, green areas in the studied neighborhoods decreased by a total of 23.7%, with neighborhood-based losses ranging from 2.64% to 13.56%. The highest decrease in green areas on a neighborhood basis occurred in Tophane neighborhood with 13.56%, while the least decrease in green areas occurred in Ekrem Orhon neighborhood with 2.64%. This situation has led to negative effects on urban biodiversity, air quality, and overall quality of life. The study emphasizes the necessity of developing sustainable urban planning approaches specific to Rize and implementing holistic strategies for the preservation of green areas.

***Corresponding author's:**

Türker OĞUZTÜRK
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of
Engineering and Architecture, Department of
Landscape Architecture, Rize, Türkiye
✉: turker.oguzturk@erdogan.edu.tr

Keywords: Land use, temporal change, urban green spaces, sustainable urban planning, Rize.

GİRİŞ

Kentsel açık ve yeşil alanlar, kent yaşamının sürdürülebilirliği, çevresel denge, halk sağlığı ve sosyal bütünleşme açısından çok yönlü işlevler üstlenmektedir (Gül vd., 2001; Kurtaslan & Yazgan, 2005). Bu alanlar; karbon yutakları oluşturarak iklim düzenlemesi sağlar, biyolojik çeşitliliğe ev sahipliği yapar, estetik değer sunar ve kent halkına fiziksel/psikolojik sağlık açısından katkı verir (Gül vd., 2020; Türker & Gül, 2022). Ancak dünya genelinde yaşanan hızlı kentleşme süreci, bu alanların niceliksel ve niteliksel olarak azalmasına yol açmaktadır. Artan nüfus, yapılaşma baskısı, ulaşım ve altyapı projeleri gibi faktörler, doğal alanları tehdit etmekte ve arazi kullanımında köklü dönüşümlere neden olmaktadır (Erdoğan & Khabbazi, 2013; Işınkaralar, 2022; Sipahi & Yılmaz, 2022). Bu dönüşümler yalnızca fiziksel mekânı değil, aynı zamanda kentsel mikroiklimi, yaşam kalitesini ve ekolojik sürdürülebilirliği de olumsuz etkilemektedir (Öztürk, 2013).

Güncel araştırmalar, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kentleşme süreçlerinin doğal arazi örtüsünde ciddi bozulmalara yol açtığını ortaya koymaktadır. Ogunbode vd. (2025) ve Deb vd. (2025) çalışmalarında, kent merkezlerinde yeşil alanların yerini hızla artan yapısal alanların aldığını ve bunun yüzey sıcaklığı artışı, hava kalitesi bozulması (Özgün, 2024) ve ekosistem parçalanması (Liu vd., 2016) gibi sonuçlara yol açtığını ifade etmektedir. Benzer şekilde, Gameda vd. (2024), Etiyopya kentlerinde 2002–2024 yılları arasında yeşil alan kaybının yüzey sıcaklığında 3 °C'ye varan artışlara neden olduğunu göstermektedir. Karimi ve Sultana (2024) ile Oğuztürk ve Pulatkan (2022), sürdürülebilir kent planlaması kapsamında arazi kullanım değişimlerinin yalnızca fiziksel değil, ekolojik, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla birlikte bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Literatürdeki pek çok çalışma, kentsel ısı adası (KIA) etkisi ile yeşil alan kaybı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Hoang et al., 2025; Wu et al., 2025). Yapay yüzeylerin artması ve sert zeminlerin genişlemesi, şehir içi sıcaklıkların artmasına ve buna bağlı olarak enerji tüketimi ile sağlık risklerinin yükselmesine neden olmaktadır (Manna & Sarkar, 2025).

Bu bağlamda, Rize kent merkezi gibi yoğun yapılaşma baskısı altındaki şehirlerde yeşil alanların korunması ve geliştirilebilmesi, yalnızca estetik ya da rekreatif açıdan değil, aynı zamanda ekolojik ve iklimsel sürdürülebilirlik açısından da kritik öneme sahiptir. Ancak özellikle son 15 yılda, Rize'deki ulaşım projeleri, konut alanları ve altyapı yatırımları yeşil dokuyu parçalamış ve azalmasına neden olmuştur (Doygun vd., 2015).

Bu çalışma, Rize kent merkezinde 2009 ve 2024 yılları arasında yeşil alanlarda meydana gelen zamansal değişimi uydu görüntüleri ve yerel yönetim verileri

aracılığıyla kantitatif olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda sürdürülebilir kentleşme ilkeleri çerçevesinde destekleyici politika önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu öneriler, yalnızca Rize özelinde değil, benzer kentsel dinamiklere sahip şehirler için de rehber niteliği taşıyacaktır.

MATERYAL VE METOT

Bu araştırmada, Rize kent merkezinde yer alan Ekrem Orhon, Tophane, Yeniköy, Çarşı, Piriçelebi ve Eminettin mahallelerinde, 2009 ve 2024 yılları arasında yeşil alanlarda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmanın ana materyalini, 2009 ve 2024 yıllarına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri oluşturmaktadır. Görüntüler, Google Earth platformu üzerinden temin edilmiştir.

Analiz sürecinde, 2009 ve 2024 yıllarına ait uydu görüntüleri görsel olarak karşılaştırılmış; her bir mahallenin yeşil alan sınırları harita üzerinde manuel olarak belirlenmiş ve yeşil alanların toplam yüzölçümündeki değişimler hesaplanmıştır. Ayrıca, konut yoğunluğu ve ulaşım ağlarının genişlemesi gibi kentsel gelişim unsurları da harita üzerinden gözlemlenerek yeşil alan kaybıyla ilişkileri yorumlanmıştır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veya gelişmiş uzaktan algılama teknikleri kullanılmamış; yalnızca görsel sınıflandırma ve manuel ölçüm yöntemlerine dayalı karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem hem zamansal değişimin hem de mekânsal dağılımın basit ve anlaşılır biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Araştırma Alanı Hakkında Genel Bilgiler: Rize ili, Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Karadeniz'in doğu kıyısında, 40°22'–41°28' doğu boylamları ile 40°20'–41°20' kuzey enlemleri arasında konumlanmaktadır. Yaklaşık 3.920 km² yüzölçümüne sahip olan il, batıda Trabzon'un Of, güneyde Erzurum'un İspir, doğuda ise Artvin'in Yusufeli ve Arhavi ilçeleriyle, kuzeyde ise Karadeniz ile çevrilidir (Rize Tarım Orman, 2024).

Çalışma alanı olarak belirlenen Ekrem Orhon, Tophane, Yeniköy, Çarşı, Piriçelebi ve Eminettin mahalleleri, Rize kent merkezinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu mahalleler, kentsel gelişimin en yoğun yaşandığı bölgelerden biri olup, yeşil alanların fiziksel dönüşümünü gözlemlemek açısından temsil gücü yüksek bir örneklem sunmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 6 Şubat 2024 tarihli verilerine göre, Rize ili merkez ilçeyle birlikte 12 ilçe, 18 belediye, 208 mahalle ve 347 köyden oluşmaktadır. 2024 yılı itibarıyla ilin toplam nüfusu 346.977 kişidir. Rize ilindeki nüfusun %43,70'i şehir merkezlerinde yaşamaktadır. İlin genelindeki ortalama nüfus yoğunluğu 89 kişi/km² dir. Çalışma kapsamında değerlendirilen 6

mahallenin toplam nüfusu 2009 yılında 33.430 iken, 2024 yılında 30.264 olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2024).



Şekil 1. A: Rize ili sınırları haritası, B: Çalışma için seçilen mahallelerin konumu (Google Earth).

Figure 1. A: Map of Rize Provincial Boundaries, B: Locations of the Selected Neighborhoods for the Study (Google Earth).

Rize ili karayolu ile Türkiye'nin her bölgesinden erişilebilir konumdadır. Ayrıca, Rize-Artvin Havalimanı sayesinde bölgeye hava yolu ile de ulaşım mümkündür. Liman altyapısı ise ağırlıklı olarak endüstriyel taşımacılık amaçlı kullanılmaktadır (Çorbacı vd., 2024).

İlde Karadeniz iklimi etkili olup, yıllık ortalama sıcaklık 14 °C civarındadır. Rize, yıllık 2.300 mm'nin üzerinde yağış almasıyla Türkiye'nin en fazla yağış alan ili konumundadır (Yüksek, 2017; Oğuztürk & Yüksek, 2024). Yaklaşık 80 km uzunluğunda ve 20–150 metre genişliğindeki kıyı şeridi boyunca, akarsuların taşıdığı alüvyonlarla oluşmuş düzlükler yer almakta; bu alanlarda taraçalar ve falezler gözlemlenmektedir.

Türkiye orman varlığının yaklaşık %25'ine (Yüksek, 2017) sahip olan Rize'nin topografyası oldukça engebeli ve dağlık olup, kıyı şeridinin hemen ardında 150–250 metre yüksekliğinde tepeler yer almaktadır. Bu bölgelerden Karadeniz'e doğru akan akarsular, dar ve derin

vadiler oluşturarak bölgenin doğal peyzajını şekillendirmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma sonucunda 2009 ve 2024 yılları arasında Rize kent merkezinde yer alan altı mahalledeki yeşil alan oranlarında mahalle bazında %2,64 ile %13,56 arasında değişen azalmalar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Araştırmaya konu edilen mahalle bazında yapılan hesaplamalara göre, 2009 yılında ortalama yeşil alan oranı %36,49 iken, bu oran 2024 yılında %27,85'e düşmüştür. Buna karşılık, aynı dönemde sert zemin oranı %63,51'den %72,15'e yükselmiş; bu da yeşil alanlarda %23,7 oranında azalma, sert zeminlerde ise %13,6 oranında artış yaşandığını ortaya koymuştur.

Toplam nüfusun 2009 yılında 33.430 iken 2024 yılında 30.264 kişiye gerilemesine rağmen, kişi başına düşen yeşil alan miktarı da %15,7 oranında azalarak 10,92 m²'den 9,20 m²'ye düşmüştür. Bu durum, yalnızca yeşil alanların mutlak miktarının değil, bireylerin bu alanlara erişim düzeyinin de azaldığını göstermektedir. Elde edilen bu bulgular, kentteki yapılaşma baskısının ekolojik dengeyi zedelediğini ve sürdürülebilir kentsel planlama stratejilerine duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

Nitekim yeşil alan kaybının kentsel biyoçeşitliliğin azalmasına (Threlfall et al., 2017; Hu & Lima, 2024), hava kalitesinin bozulmasına (Gheorghe & Ion, 2011; Bikis, 2023) ve genel anlamda yaşam kalitesinin düşmesine (Maas et al., 2009; Koprowska et al., 2020) neden olduğu literatürde sıkça vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda, Rize kentinde yeşil alanların korunmasına yönelik sürdürülebilir kentsel planlama stratejilerinin geliştirilmesi gerekliliği bir kez daha önem kazanmaktadır.

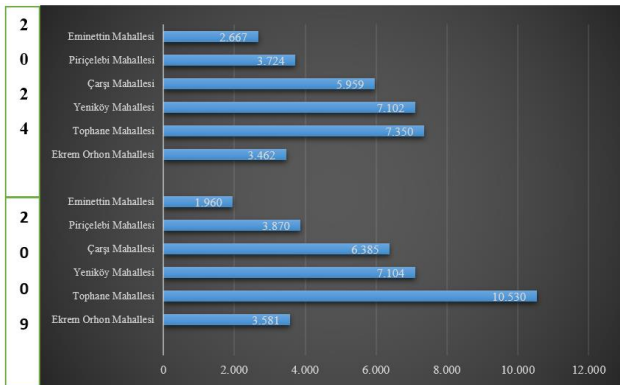


Şekil 2. Rize kentinde bazı mahallelerin 2009-2024 yılları arasındaki yeşil doku ve sert zemin değişimi

Figure 2. Change in Green Cover and Impervious Surfaces in Selected Neighborhoods of Rize Between 2009 and 2024.

2024 yılına ait Rize ili arazi kullanım haritası incelendiğinde, kent merkezinde en belirgin değişimlerin; yerleşim alanlarının genişlemesi, ulaşım altyapısının yoğunlaşması ve kıyı dolgu alanlarının artması şeklinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu gelişmeler, özellikle plansız yapılaşma ve çarpık kentleşme olguları ile atık yönetimi sorunları, altyapı yetersizlikleri ve kıyı alanlarının doğal yapısının bozulması gibi farklı çevresel sorunlar gündeme gelmiştir. Özellikle dolgu alanları ve yapılaşma baskısı altındaki kıyı bölgelerinde yaşanan bu dönüşüm, doğal peyzajın tahrip olmasına ve ekosistem sürekliliğinin kesintiye uğramasına neden olmaktadır (Ogunbode et al., 2025).

Bu bağlamda, mahalle ölçeğindeki demografik veriler de dikkate alındığında, Eminettin Mahallesi'nde nüfusun 2009 yılında 1.960 kişi iken 2024 yılında 2.667 kişiye yükseldiği ve bu durumun 707 kişilik (%35,71) bir artışa karşılık geldiği belirlenmiştir. Nüfustaki bu artış, mahallede kişi başına düşen yeşil alan miktarında azalmaya yol açmıştır. Buna karşın, Piriçelebi, Çarşı, Yeniköy, Tophane ve Ekrem Orhon mahallelerinde 2009–2024 yılları arasında nüfus azalışı tespit edilmiştir. Bu mahalleler arasında en dikkat çekici azalma, Tophane Mahallesi'nde yaşanmış olup, 3.180 kişilik bir nüfus kaybı söz konusudur (Şekil 3). Bu mahallelerde adrese kayıtlı nüfus azalmış olsa bile sert zemin miktarı artmıştır (Tablo 1).



Şekil 3. Rize kentinde bazı mahallelerin 2009-2024 yılları arasındaki nüfus verileri URL-1)

Figure 3. Population Data of Selected Neighborhoods in Rize Between 2009 and 2024

Tablo 1. 2009 -2024 Yıllarına Ait Mahallelerdeki Yeşil Alan ve Sert Zemin Yüzdeleri

Table 1. Percentages of Green Space and Impervious Surfaces in Neighborhoods (2009–2024).

Mahalle	2009 Yeşil Alan (%)	2024 Yeşil Alan (%)	2009 Sert Zemin Miktarı (%)	2024 Sert Zemin Miktarı (%)
Ekrem Orhon Mahallesi	23,97	21,33	76,03	78,67
Tophane Mahallesi	44,35	30,79	55,65	69,21
Yeniköy Mahallesi	63,63	54,30	36,37	45,70
Çarşı Mahallesi	24,87	14,86	75,13	85,14
Piriçelebi Mahallesi	47,69	37,59	52,31	62,41
Eminettin Mahallesi	14,45	8,22	85,55	91,78

Tablo 1 incelendiğinde, 2009 ve 2024 yıllarına ait yeşil alan ve sert zemin oranları mahalle bazında

karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. 2009 yılı verilerine göre yeşil alan oranının en yüksek olduğu mahalle %63,63 ile Yeniköy Mahallesi iken, sert zemin oranının en yüksek olduğu mahalle %85,55 ile Eminettin Mahallesi olmuştur. 2024 yılı verilerinde ise yeşil alan oranı en yüksek mahalle yine Yeniköy Mahallesi (%54,30) olmasına rağmen, yeşil alan miktarında %9,33 oranında azalma meydana gelmiştir. 2009 ve yılında en yüksek sert zemin oranı Eminettin mahallesindedir. Yıllara göre Eminettin mahallesindeki sert zemin artışı %6,23 olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, Yeniköy Mahallesi'nin görece daha fazla yeşil dokuya sahip olduğunu, buna karşılık Eminettin Mahallesi'nin hem 2009 hem de 2024 yıllarında yoğun yapılaşma baskısı altında kaldığını ve sert zemin oranının en yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Mahalleler arası bu farklılıklar, kent içi arazi kullanım biçimlerinin çeşitliliğini ve kentsel gelişim eğilimlerini yansıtmaktadır. Şekil 4'te, 2009–2024 yılları arasında Rize kent merkezindeki belirli mahallelerde yeşil alan ve sert zemin değişimlerinin en yoğun yaşandığı noktalar mekânsal olarak gösterilmiştir. Harita, kentsel dönüşümün baskın olduğu alanları vurgulamakta; yapılaşma ile ekolojik alanlar arasındaki ilişkinin nasıl yön değiştirdiğini somut biçimde ortaya koymaktadır. Bu durum, kentsel büyümenin yönlendirilmesi ve yeşil altyapı planlamasında öncelikli müdahale alanlarının belirlenmesi açısından önemli bir karar destek aracı sunmaktadır.



Şekil 4. Rize kent merkezindeki bazı mahallelerde 2009–2024 yılları arasında yeşil alan ve sert zemin değişiminin en yoğun yaşandığı noktaların mekânsal dağılımı

Figure 4. Spatial Distribution of the Most Intense Changes in Green Areas and Impervious Surfaces in Selected Neighborhoods of Rize City Center (2009–2024)

Çalışma kapsamında belirlenen mahallelerde yeşil alan kaybının ve sert zemin (yapılaşma) artışının en belirgin olduğu bölgelere odaklanmaktadır. Değişim noktaları, uydu görüntüleri üzerinden yapılan görsel karşılaştırmalar sonucunda tespit edilmiş ve yoğunluklarına göre sınıflandırılmıştır. Bu alanlar, kentsel gelişimin çevresel baskı yarattığı kritik bölgeleri temsil etmektedir (Şekil 5, 6, 7, 8, 9).



Şekil 5. Rize Çarşı Mahallesi (1 numaralı nokta) açık AVM alanından görüntüler.

Figure 5. Images from the Open-Air Shopping Mall Area (Point 1) in Rize Çarşı Neighborhood.



Şekil 6. Rize Eminettin Mahallesi (2 numaralı nokta) çay çarşısı alanından görüntüler.

Figure 6. Images from the Tea Bazaar Area (Point 2) in Rize Eminettin Neighborhood.



Şekil 7. Rize Eminettin Mahallesi (2 numaralı nokta) çay çarşısı otopark alanından görüntüler

Figure 7. Images from the Tea Bazaar Parking Area (Point 2) in Rize Eminettin Neighborhood



Şekil 8. Rize sahil dolgu alanından (3 numaralı nokta) görüntüler.

Figure 8. Images from the Coastal Reclamation Area (Point 3) in Rize.

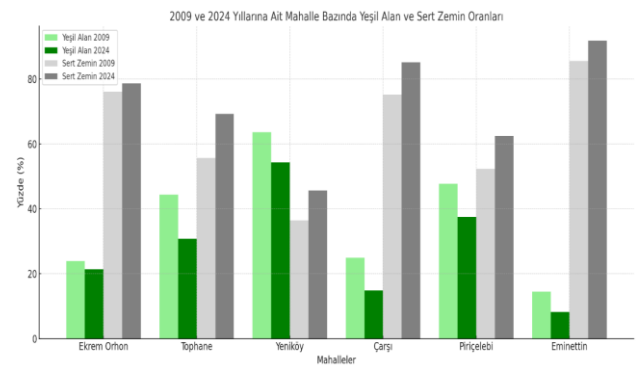


Şekil 9. Rize 5 numaralı noktadan görüntüler.

Figure 9. Images from Point 5 in Rize.

Şekil 10, çalışma kapsamında değerlendirilen altı mahallede 2009 ve 2024 yıllarına ait yeşil alan ve sert zemin oranlarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Grafik incelendiğinde, tüm mahallelerde sert zemin oranlarında artış; buna karşılık yeşil alan oranlarında azalma eğilimi gözlemlenmektedir.

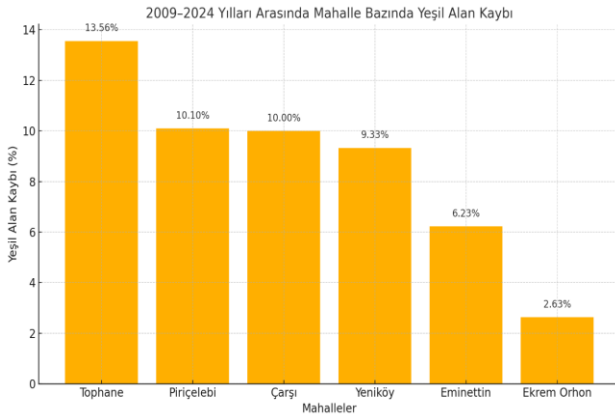
Özellikle Tophane, Piriçelebi ve Çarşı mahallelerinde yeşil alanlardaki azalma dikkat çekici düzeydedir. Buna karşılık Ekrem Orhon Mahallesi gibi bazı bölgelerde yeşil alan oranındaki değişim sınırlı kalmıştır. Bu durum, mekânsal değişimin mahalleler arasında farklılaştığını ve yapılaşma yoğunluğunun yerel demografik ve fiziksel koşullarla şekillendiğini ortaya koymaktadır. 2009 yılında mahallelerde ortalama yeşil alan oranı %36,49 iken, bu oran 2024 yılında %6,23 azalma ile %27,85'e gerilemiştir. Aynı dönemde ortalama sert zemin oranı ise %63,51'den %72,15'e yükselmiştir. Bu eğilim, kent dokusunda geçirimsiz yüzeylerin giderek yaygınlaştığını ve peyzaj parçalanması ile doğal yeşil altyapı ve bu alandaki biyoçeşitliliğinin hızla azaldığının bir kanıtı olarak gösterilebilir.



Şekil 10. 2009-2024 Yılları Arasında Mahallelerdeki Yeşil Alan ve Sert Zemin Miktarlarındaki Değişim.

Figure 10. Changes in Green Space and Impervious Surface Amounts in Neighborhoods Between 2009 and 2024.

Şekil 11, 2009–2024 yılları arasında altı mahallede meydana gelen yeşil alan değişim yüzdelерini göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, en fazla yeşil alan kaybı %13,56 oranıyla Tophane Mahallesi'nde gerçekleşmiştir. Bu mahalleyi sırasıyla %10,10 ile Piriçelebi, %10,01 ile Çarşı, %9,33 ile Yeniköy ve %6,23 ile Eminettin mahalleleri takip etmektedir. En az yeşil alan kaybı ise %2,64 ile Ekrem Orhon Mahallesi'nde görülmüştür.



Şekil 11. 2009-2024 Yılları Arasında Mahalle bazında Yeşil Alan kaybı.
Figure 11. Changes in Green Space and Impervious Surface Amounts in Neighborhoods Between 2009 and 2024.

Bu bulgular, kentsel yapılaşma baskısının mahalleler arasında farklı yoğunluklarda hissedildiğini ve özellikle Tophane gibi bazı bölgelerin yeşil doku açısından daha fazla risk altında olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil alanların bu denli tahrip edilmesi yalnızca peyzaj değerinin azalmasına değil; aynı zamanda ekolojik dengenin bozulmasına, toprak verimliliğinin düşmesine, mikroklimatik dengesizliklerin ortaya çıkmasına ve sel ile heyelan gibi afet risklerinin artmasına neden olabilmektedir (Yüksek, 2011; Yüksek, 2017).

Elde edilen veriler, yalnızca Rize kentiyle sınırlı kalmamakta; benzer topoğrafik ve iklimsel özelliklere sahip birçok şehirde de karşılaşılan ortak bir kentleşme sorunsalına işaret etmektedir. Nitekim çeşitli araştırmalar, gelişmekte olan ülkelerde hızla artan yapılaşma ve kontrolsüz kent büyümesinin yeşil alan kayıplarını hızlandırdığını ve çevresel kırılganlıkları önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Deb et al., 2025; Gemeda et al., 2024). Özellikle sert zemin oranlarındaki artış, kent içi mikroklima üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve kentsel ısı adası etkisini güçlendirmektedir (Wu vd., 2025; Manna ve Sarkar, 2025). Rize gibi eğimli ve yüksek yağış alan bölgelerde yeşil dokunun azalması, sel, heyelan ve toprak kayması gibi afet risklerini daha da artırmaktadır (Yüksek, 2011; Yüksek, 2017). Bu nedenle, yeşil alanların korunması yalnızca estetik ya da rekreatif amaçlarla değil; aynı zamanda ekolojik sürdürülebilirlik ve afet risklerinin azaltılması açısından da kritik bir öneme sahiptir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar:

- 2009-2024 Yılları arasında en fazla yeşil alan kaybı %13,56 ile Tophane mahallesinde, en az yeşil alan kaybı %2,64 ile Ekrem Orhon mahallesinde meydana gelmiştir. Mahallelerin tümünde 2009-2024 yılları arasında yeşil alan oranı %23,7 oranında azalmıştır.
- 2009-2024 Yılları arasında en yüksek sert zemin artışı %13,56 ile Tophane mahallesinde, en düşük sert zemin artışı %2,64 ile Ekrem Orhon mahallesinde meydana gelmiştir. Mahallelerin tümünde 2009-2024 yılları arasında sert zemin oranı %13,6 oranında artmıştır.

Öneriler:

- Mevcut yeşil alanların korunması ve iyileştirilmesi,
- Yeni yeşil alanların oluşturulması ve mekânsal planlarda bu alanlara öncelik verilmesi,
- Parçalı yeşil alanların (yama, ekolojik köprü vb uygulamalarla) birleştirilmesi,
- Yerel halk, sivil toplum kuruluşları ve yerel yönetimlerin karar alma süreçlerine aktif katılımının sağlanması,
- Kentsel planlama süreçlerinde ekolojik faktörlerin öncelikli olarak değerlendirilmesi,
- Kentleşme ve yeşil alan politikalarının entegre edilerek uzun vadeli stratejik planlara dönüştürülmesi.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, Rize kentinin kentsel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına, afetlere karşı dirençli ve yaşanabilir bir çevre oluşturmaya katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda benzer coğrafi ve demografik özelliklere sahip diğer kentler için de model oluşturabilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, Y., & Ergun, N. (2009). Kentleşme ve yeşil alan sorunu üzerine bir araştırma: İstanbul kenti Bakırköy ilçesi örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2(4), 426-438.
- Atanur, G., Mirici, M.E., & Ersöz, N.D. (2024). Kaybolan kent ve doğa ilişkisini kentsel açık yeşil alanlar üzerinden tartışmak: Bursa Yıldırım ilçesi örneği. *İdealkent*, 16(43), 393-414.
- Bainbridge, D.A. (2015). *Gardening with less water*. Storey Publishing, 127, Massachusetts.
- Atila, G.Ü., & Küçük, V. (2001). Kentsel açık-yeşil alanlar ve Isparta kenti örneğinde irdelenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 2(1), 27-48.
- Atila, G.Ü., Dinç, G., Akın, T., & Koçak, A.İ. (2020). Kentsel açık ve yeşil alanların mevcut yasal

- durumu ve uygulamadaki sorunlar. *İdealkent*, **11**(Özel Sayı), 1281-1312.
- Bikis, A. (2023).** Urban air pollution and greenness in relation to public health. *Journal of Environmental and Public Health*, **1**, 8516622.
- Çorbacı, Ö.L., Ekren, E., & Verdi, S. (2024).** Rize-Artvin Karayolu Bitkilendirme Tasarımının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **9**(3), 403-421.
- Deb, P., Jha, R.K., Kumar, N., Vishal, M.K., Shukla, D.P., Kalita, P.K., & Singh, L.K. (2025).** Analyzing land use land cover dynamics under rapid urbanization using multi-temporal satellite imageries and geospatial technology for Jamshedpur city in India. *Advances in Space Research*, **75**(3), 2810-2825.
- Doygun, H., Atmaca, M., & Zengin, M. (2015).** Kahramanmaraş'ta kentleşme ve yeşil alan varlığındaki zamansal değişimlerin incelenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, **18**(4), 55-61.
- Erdoğan, E., & Khabbazi, P.A. (2013).** Yapı yüzeylerinde bitki kullanımı, dikey bahçeler ve kent ekolojisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, **1**, 23-27.
- Fu, M., Jiao, L., & Su, J. (2025).** Urban land system change: Spatial heterogeneity and driving factors of land use intensity in Wuhan, China. *Habitat International*, **159**, 103380.
- Gazel, B. (2022).** Kentsel açık ve yeşil alanların yaşanabilirlik kavramı bağlamında değerlendirilmesi: Konya kent merkezi örneği. Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Gemeda, D.O., Kenea, G., Teshome, B., Daba, G.L., Argu, W., & Roba, Z.R. (2024).** Impact of land use and land cover change on land surface temperature: Comparative studies in four cities in southwestern Ethiopia. *Environmental Challenges*, **16**, 101002.
- Gheorghe, I. F., & Ion, B. (2011).** The effects of air pollutants on vegetation and the role of vegetation in reducing atmospheric pollution. *The impact of air pollution on health, economy, environment and agricultural sources*, **29**, 241-80.
- Gökalp, D.D., & Yazgan, M.E. (2013).** Kentsel tasarımda kent ekolojisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, **1**, 28-31.
- Hoang, N.D., Tran, V.D., & Huynh, T.C. (2025).** From data to insights: Modeling urban land surface temperature using geospatial analysis and interpretable machine learning. *Sensors*, **25**, 1169.
- Hu, X., & Lima, M.F. (2024).** The association between maintenance and biodiversity in urban green spaces: A review. *Landscape and Urban Planning*, **251**, 105153.
- Işınkaralar, K. (2022).** Kütahya kent merkezinde hava kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimi. *SDU Journal of Engineering Sciences & Design*, **10**(1).
- Jamali, A.A., Behnam, A., Almodaresi, S.A., He, S., & Jaafari, A. (2024).** Exploring factors influencing urban sprawl and land-use changes using random forest classification. *Environment, Development and Sustainability*, **26**(5), 13557-13576.
- Karimi, F., & Sultana, S. (2024).** Urban expansion prediction and land use/land cover change modeling for sustainable urban development. *Sustainability*, **16**(6), 2285.
- Koprowska, K., Laszkiewicz, E., & Kronenberg, J. (2020).** Is urban sprawl linked to green space availability?. *Ecological Indicators*, **108**, 105723.
- Kurtaslan, B. Ö., & Yazgan, M.E. (2005).** Kayseri kent bütününe açık ve yeşil alanlarının sistem yaklaşımı ile değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **20**(1), 69-80.
- Liu, Z., He, C., & Wu, J. (2016).** The Relationship between habitat loss and fragmentation during urbanization: An empirical evaluation from 16 World Cities. *PLoS ONE* **11**(4), e0154613. DOI: [10.1371/journal.pone.0154613](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154613)
- Maas, J., Van Dillen, S.M., Verheij, R.A., & Groenewegen, P.P. (2009).** Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. *Health & Place*, **15**(2), 586-595.
- Manna, H., & Sarkar, S. (2025).** Quantifying urban land surface temperature (LST) dynamics using remote sensing in Eastern India. *Theoretical and Applied Climatology*, **156**(3), 151.
- Ogunbode, T.O., Oyebamiji, V.O., Sanni, D.O., Akinwale, E.O., & Akinluyi, F.O. (2025).** Environmental impacts of urban growth and land use changes in tropical cities. *Frontiers in Sustainable Cities*, **6**, 1481932.
- Oğuztürk, G. E., & Pulatkan, M. (2022).** Üniversite yerleşkelerinin bütüncül planlama yaklaşımıyla değerlendirilmesinin bibliyometrik analiz ile irdelenmesi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, **18**(2), 1-13.
- Özgün, F. (2024).** Küreselleşme ve Kentleşmenin Çevreye Etkisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, **25**(2), 130-152. DOI: [10.24889/ife.1501231](https://doi.org/10.24889/ife.1501231)
- Öztürk, S. (2013).** Kentsel açık ve yeşil alanların yaşam kalitesine etkisi: Kastamonu örneği. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, **13**(1), 109-116.
- Rize Tarım Orman. (2024).** Rize'nin Coğrafi Yapısı. Erişim tarihi: 02.05.2024, <https://rize.tarimorman.gov.tr/Menu/12/Cografik-Yapi>
- Sharma, M., Kumar, V., & Kumar, S. (2024).** A systematic review of urban sprawl and land use/land cover change studies in India. *Sustainable Environment*, **10**(1), 2331269.
- Sipahi, M., & Yılmaz, H. (2022).** Planning experience on the factors affecting the physical land use change and temporal change in the Eastern Black Sea coastal settlements; the case of Çayeli. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **7**(4), 397-405.

- Threlfall, C.G., Mata, L., Mackie, J.A., Hahs, A.K., Stork, N.E., Williams, N. S., & Livesley, S. J. (2017).** Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. *Journal of applied ecology*, *54*(6), 1874-1883.
- Timilsina, R.H., Ojha, G.P., Nepali, P.B., & Tiwari, U. (2025).** Landscapes in transition: Agricultural land use change in Inner Terai of Nepal. *International Journal of Social Sciences and Management*, *12*(1), 46-59.
- Tosun, E.K. (2017).** Sürdürülebilirlik bağlamında ekolojik kent söylemi. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *17*(4), 169-183.
- Türker, H.B., & Gül, A. (2022).** Kentsel açık ve yeşil alanlarının niceliksel analizi ve irdelenmesi: Uşak kent merkezi örneği. *Kent Akademisi*, *15*(4), 2088-2109.
- URL-1. (2025)** <https://www.drdatastats.com/turkiye-mahalle-ve-koy-nufuslari/> 08.04.2025
- Wu, Y., Che, Y., Liao, W., & Liu, X. (2025).** The impact of urban morphology on land surface temperature in the Pearl River Delta. *Building and Environment*, *267*, 112215.
- Yüksek, T. (2011).** Rize yöresinde yanlış arazi kullanımı ve neden olduğu çevresel sorunlar. *Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelan ve Taşkın Sempozyumu*, 10-11 Şubat 2011, Trabzon.
- Yüksek, T. (2017).** Land use, some forestry studies and a general evaluation of the temporal distribution of precipitation in Rize. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, *2*(3), 59-66.
- Zhao, C., Weng, Q., & He, Z. (2025).** Quantifying the importance of urban plan intentions in Austin, Texas. *Land Use Policy*, *149*, 107415.



Exploring the Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* N33 in Biocontrol [*]

Sevda UÇAR¹ Şeyma ALIM² Neslihan DİKBAŞ^{2*} Kağan KÖKTEN¹

¹Department of Field Crops, Faculty of Agricultural Sciences and Technology, Sivas Science and Technology University, Sivas, Türkiye

²Department of Agricultural Biotechnology, Agricultural Faculty, Ataturk University, Erzurum, Türkiye

Received: 02.05.2025

Accepted: 02.06.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Uçar, S., Alım, Ş., Dikbaş, N., & Kökten, K. (2025). Exploring the Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* N33 in Biocontrol. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(4), 360-365. <https://doi.org/10.35229/jaes.1689328>

Atf yapmak için: Uçar, S., Alım, Ş., Dikbaş, N., & Kökten, K. (2025). *Bacillus amyloliquefaciens* N33'ün Biyokontrolde Kullanım Potansiyelinin Ortaya Çıkarılması. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(4), 360-365. <https://doi.org/10.35229/jaes.1689328>

* : <https://orcid.org/0000-0001-9096-2761>
 : <https://orcid.org/0000-0002-3612-457X>
 : <https://orcid.org/0000-0001-6684-7974>
 : <https://orcid.org/0000-0001-5403-5629>

*Corresponding author's:

Neslihan DİKBAŞ
Department of Agricultural Biotechnology,
Agricultural Faculty, Ataturk University,
Erzurum, Türkiye
✉: neslidikbas@atauni.edu.tr

Abstract: The use of biocontrol agents instead of synthetic chemicals in the control of plant diseases and post-harvest preservation of fruits, vegetables and cereals has gained great momentum given their numerous advantages. In the present study, the antifungal activity of *Bacillus amyloliquefaciens* N33 strain isolated from lettuce was tested *in vitro* against *Penicillium citrinum*, *P. expansum*, *P. verrucosum*, *P. digitatum*, *P. paneum*, *Fusarium graminearum* and *Aspergillus fumigatus*. The strain showed a high activity against all tested fungi and the inhibition rate ranged between 60.3-94.2%. The highest activity was observed against *P. digitatum* (94.2%) and *P. expansum* (82.5%), which caused significant postharvest losses in fruits. In addition, N33 showed a higher activity against *F. graminearum*, *P. digitatum*, *P. expansum* and *P. paneum* than the synthetic fungicide. The findings indicate that *B. amyloliquefaciens* N33 can be a broad spectrum biological control agent against different fungal species.

Keywords: *Aspergillus*, *Bacillus*, biocontrol, *Fusarium*, *Penicillium*.

Bacillus amyloliquefaciens N33'ün Biyokontrolde Kullanım Potansiyelinin Ortaya Çıkarılması [*]

Öz: Bitki hastalıklarının kontrolünde ve hasat sonrası meyve, sebze ve tahılların muhafazasında sentetik kimyasallar yerine biyokontrol ajanlarının kullanımı, sayısız avantajları göz önüne alındığında büyük bir ivme kazanmıştır. Mevcut çalışmada maruldan izole edilen *Bacillus amyloliquefaciens* N33 suşunun *Penicillium citrinum*, *P. expansum*, *P. verrucosum*, *P. digitatum*, *P. paneum*, *Fusarium graminearum* ve *Aspergillus fumigatus*'a karşı antifungal etkinliği *in vitro* olarak test edilmiştir. Suş test edilen tüm funguslara karşı yüksek bir etkinlik göstermiş ve inhibisyon oranı %60,3-94,2 aralığında değişmiştir. En yüksek etkinlik meyvelerde hasat sonrası önemli kayıplara neden olan *P. digitatum* (%94,2) ve *P. expansum*'a (%82,5) karşı görülmüştür. Ayrıca N33 *F. graminearum*, *P. digitatum*, *P. expansum* ve *P. paneum*'a karşı sentetik fungusitten daha yüksek bir etkinlik göstermiştir. Elde edilen bulgular *B. amyloliquefaciens* N33'ün farklı fungus türlerine karşı geniş spektrumlu bir biyolojik mücadele etmeni olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Aspergillus*, *Bacillus*, biokontrol, *Fusarium*, *Penicillium*.

INTRODUCTION

Fungal pathogens, which cause severe yield losses in agricultural production, are the biggest limiting factors in food production and a chronic threat to the global economy and food security (Soliman et al., 2022; Soliman et al., 2023). In particular, *Fusarium* species cause serious

diseases such as root rot, wilt and spike blight in many crops, causing significant economic losses (Baard et al., 2023; Krishnan et al., 2024). However, postharvest *Penicillium* and *Aspergillus* species shorten the shelf life of fruits and vegetables and threaten food safety through mycotoxin production (Dukare et al., 2022; Wang et al., 2022).

[*] This study is derived from Sevda Uçar's PhD thesis titled "Production of chitinase enzyme from *Bacillus amyloliquefaciens*: Immobilization and potential use in biocontrol of some warehouse diseases and pests"

Although many strategies have been developed to manage and control yield losses caused by phytopathogens, pesticides are the most widely used (Wei et al., 2023). However, the unconscious and widespread use of pesticides has led to the development of resistance in pathogens, toxicity to non-target organisms and detrimental effects on the environment (Trung et al., 2023; Tang, 2025). Biocontrol, based on the use of beneficial microorganisms or their products (bioactive molecules and hydrolytic enzymes) as an alternative to chemicals, can be defined as an environmentally friendly control that controls plant diseases and pests through non-hazardous mechanisms and is non-toxic to humans and other non-target organisms (Liu et al., 2021).

Many bacterial genera such as *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Streptomyces* have been widely used in biocontrol strategies (Albayrak, 2019). Among these groups, *Bacillus* species remain the most studied and cited genus due to their resistance to adverse environmental conditions such as drought, UV and low nutrient availability and their ability to control a wide range of pathogens (Dobrzyński et al., 2023). *Bacillus* species antagonize phytopathogens by competing for nutrients and niches, producing antifungal compounds (lipopeptides and antibiotics), hydrolytic enzymes and siderophores, or by inducing systemic resistance (Cruz-Martín et al., 2020; Jabnoun-Khiareddine et al., 2023). Therefore, in this study, *B. amyloliquefaciens* N33 strain isolated from lettuce was tested *in vitro* against 7 different fungi. The aim is to contribute to an environmentally friendly and sustainable plant protection approach with reduced chemical use.

MATERIAL AND METHOD

Bacteria and Fungal Isolates: *B. amyloliquefaciens* N33 strain (Former culture code: M6, Accession number: KX249603) and seven fungal isolates (*P. citrinum*, *P. expansum*, *P. verrucosum*, *P. digitatum*, *P. paneum*, *F. graminearum* and *A. fumigatus*) used in the study are stored at -80 °C in the culture collection of Prof. Dr. Neslihan Dikbaş at Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology.

Development of Bacteria: *B. amyloliquefaciens* N33 strain was inoculated on Nutrient Agar and incubated at 28 °C for 24 hours. After incubation, the strain was transferred to Nutrient broth and incubated at 28 °C at 120 rpm for 24 hours. The density of the culture medium was adjusted to 10⁸ CFU/mL (0.5 McFarland).

In Vitro Antifungal Assay: Agar disk diffusion method was used to test the antifungal effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on fungi. The fungi to be used in the experiment were grown in Petri dishes containing Potato Dextrose Agar (PDA) at 24 °C for 7 days under 15 hours light and 9 hours dark conditions. Mycelial disks

with a diameter of 6 mm were taken from the cultures and these disks were placed on two opposite sides of the petri dishes containing PDA medium. The discs were placed in the center of the petri dishes and these discs were impregnated with 50 µL of bacterial suspension adjusted to 10⁸ CFU/mL. The petri dishes were then covered with paraffin and incubated in a 15 h light and 9 h dark photoperiod until the mycelial disks in the control treatment coalesced. On the day when the disks in the control treatment coalesced, assessments were made and the colony diameter of the pathogenic fungus was measured in mm (Dikbaş et al., 2023). Purified water and 25% tebuconazole were used as control. Each treatment was repeated three times and the inhibition rate (%) was calculated using the following formula.

$$\text{Inhibition rate (\%)} = \frac{(R1 - R2)}{R1} \times 100$$

R1: Growth diameter of pathogenic fungus in control (mm)

R2: Growth diameter of pathogenic fungus in treatments (mm)

Statistical Analysis: In this study, all experiments were performed in triplicate. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) in GraphPad Prism 8.0.2.263. Significant differences between means were determined by Tukey's HSD test. Differences were considered statistically significant at P<0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

Biological control of fungal diseases is a viable, effective and environmentally friendly alternative to sustainable agricultural methods considering the negative aspects of pesticides (high cost, limited efficacy, residue problems, resistance, non-target species, toxic effects on human health and the environment) (Dadrassia et al., 2020; Deguine et al., 2021). *Bacillus* species are isolated from different sources and widely investigated for their antifungal activity against fruit, vegetable, grain or plant pathogens (Zeidan et al., 2024). In the present study, *B. amyloliquefaciens* N33 strain isolated from lettuce was tested against 7 different fungi (*P. citrinum*, *P. expansum*, *P. verrucosum*, *P. digitatum*, *P. paneum*, *F. graminearum* and *A. fumigatus*) and its potential to be used in biocontrol was investigated *in vitro*.

Fusarium graminearum, which causes Fusarium head blight, causes severe yield losses in wheat and produces mycotoxins (deoxynivalenol, etc.) that can have negative effects on human health (Abbas and Yli-Mattila, 2022). In the study, *B. amyloliquefaciens* N33 was tested against *F. graminearum* and the data obtained from the treatments were statistically analyzed. It was determined that the effect of the treatments on *F. graminearum* was very significant (p<0.001) and the inhibition rate varied between 0.0-60.8% according to the treatments (Figure 1, Table 1).

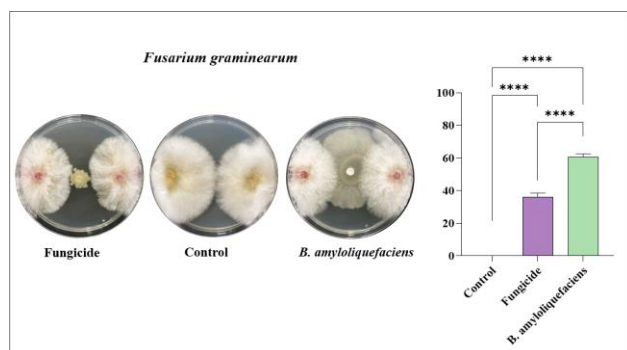


Figure 1. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *F. graminearum* and inhibition rates (****: $p < 0.001$).

The highest inhibition against *F. graminearum* was obtained from *B. amyloliquefaciens* N33 with a value of 60.8% and the difference with tebuconazole (36.1%) was very significant ($p < 0.001$). In parallel with the results of the study, *B. amyloliquefaciens* MQ01 strain formed a zone diameter of 3.43 mm against *F. graminearum* in PDA medium (Xu et al., 2021). Similarly, *B. amyloliquefaciens* XY-1 strain isolated from wheat roots formed a zone diameter of approximately 30 mm against *F. graminearum* (Xu et al., 2022). In addition, Xie et al., (2022) reported that the inhibition rate of *B. amyloliquefaciens* OR2-30 against *F. graminearum* was 62.8%. Furthermore, Yi et al., (2024) reported that *B. amyloliquefaciens* ZK-9 strain has a broad antifungal activity against *F. graminearum* and filamentous fungi. The results of the present study support the strong antagonistic activity of *B. amyloliquefaciens* N33 against *F. graminearum* in agreement with the literature studies.

Green and blue molds caused by *P. digitatum* and *P. expansum* are considered the most widespread and serious postharvest diseases during storage, handling and marketing of fresh fruits (Settier-Ramírez et al., 2021; Wang et al., 2022). The antifungal activity of *B. amyloliquefaciens* N33 against *P. digitatum* was tested *in vitro* and the data obtained from the treatments were statistically analyzed. It was determined that the effect of the treatments on *P. digitatum* was very significant ($p < 0.001$) and the inhibition rate varied between 0.0-94.2% according to the treatments (Figure 2, Table 1).

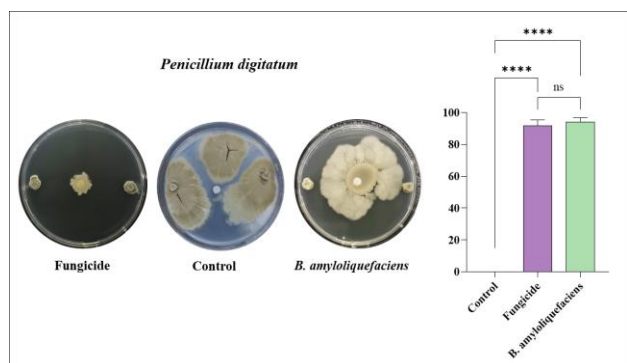


Figure 2. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *P. digitatum* and inhibition rates (****: $p < 0.001$, ns: non-significant).

The highest inhibition rate was obtained from *B. amyloliquefaciens* N33 (94.2%), followed by tebuconazole (91.7%). While the difference between both treatments was insignificant ($P > 0.05$), the difference between these treatments and the control was very significant ($p < 0.001$). In the antifungal tests against *P. expansum*, the highest activity was obtained from *B. amyloliquefaciens* N33 with an inhibition rate of 82.5% and there was no significant difference between it and the fungicide (75%) ($p > 0.05$). The difference between these treatments and the control was very significant ($p < 0.001$) (Figure 3, Table 1).

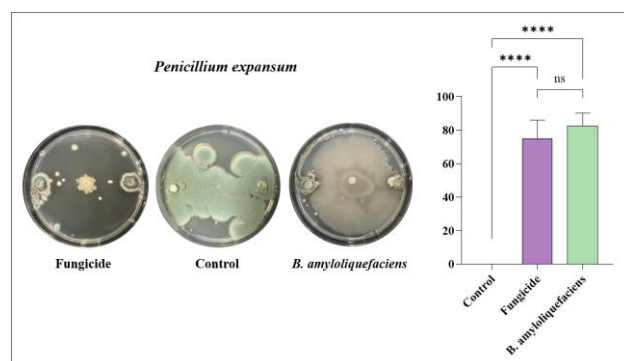


Figure 3. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *P. expansum* and inhibition rates (****: $p < 0.001$, ns: non-significant).

Strain N33 showed a superior biocontrol performance against the respective pathogen compared to the fungicide. There are many reports in the literature on the use of *B. amyloliquefaciens* for the biological control of *P. digitatum* and *P. expansum*. For example, Calvo et al., (2017) determined the inhibition rates of *B. amyloliquefaciens* BUZ-14 strain against *P. digitatum* and *P. expansum* as 54.5% and 56.8%, respectively. Similarly, Chen et al., (2018) reported that *B. amyloliquefaciens* DH-4 strain isolated from citrus rhizosphere soil formed a zone diameter of 6.1 cm against *P. digitatum*. In addition, Huang et al., (2023) reported that *B. amyloliquefaciens* HY2-1 formed a zone diameter of 21.88 mm against *P. digitatum* and exhibited broad-spectrum antifungal activity by producing lipopeptides such as fengycin A and surfactin. In addition, Avan et al., (2024) reported that 250 mL 100 L⁻¹ dose of *B. amyloliquefaciens* TV-17C reduced green mold incidence by 90.3% and 89.8% in Hatay and Mersin provinces, respectively, and emphasized the effectiveness of TV-17C strain against green mold in oranges. The results obtained were in line with the literature data and strain N33 was more effective than chemical pesticides against both fungi.

The antifungal activity of *B. amyloliquefaciens* N33 was also tested against *P. citrinum*, *P. verrucosum*, *P. paneum* and *A. fumigatus* and the results are presented in Figures 4, 5, 6 and 7. The efficacy of N33 and tebuconazole against *P. citrinum* was similar ($p > 0.05$) and the inhibition

rates were 67.5% and 67.1%, respectively (Figure 4, Table 1).

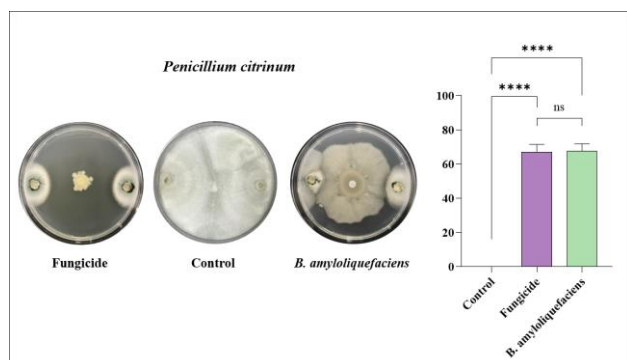


Figure 4. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *P. citrinum* and inhibition rates (****: $p < 0.001$, ns: non-significant).

Related to the study, Li et al., (2016) reported that *B. amyloliquefaciens* SYBC H47 strain isolated from raw honey inhibited *P. citrinum* by ~25%. The rate of inhibition obtained by the researchers was much lower than the results obtained in the present study. This shows that strain N33 has a good antagonistic property against the related fungus.

Penicillium verrucosum is an important fungal pathogen that widely affects cereal crops during harvest and storage under favorable environmental conditions and produces citrinin, ochratoxin A, patulin and penicillic acid (Mosa et al., 2023). In the antifungal activity test against *P. verrucosum*, the highest activity was obtained from tebuconazole (71.1%) and the difference with N33 (61.4%) was significant ($p < 0.05$). The difference between these treatments and the control was very significant ($p < 0.001$) (Figure 5, Table 1).

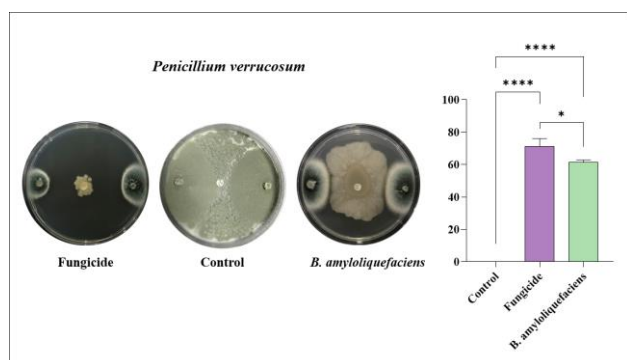


Figure 5. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *P. verrucosum* and inhibition rates (*: $p < 0.05$, ****: $p < 0.001$).

In the literature, different *Bacillus* species were tested against *P. verrucosum* and positive results were reported. For example, Ul Hassan et al., (2019) reported that *B. licheniformis* BL350-2 strain inhibited *P. verrucosum* by 53% in their study. Similarly, Saleh et al., (2021) reported that volatile organic compounds of *B. megaterium* BM344-1 inhibited the growth of *P. verrucosum*.

Penicillium paneum is a major contaminant of cereal grains, thriving at low temperature and pH and high carbohydrate levels, and some species are known to produce mycotoxins that can be harmful to humans and animals (Zhao et al., 2024). In the study, *B. amyloliquefaciens* N33 strain exhibited a high inhibition rate (73.9%) against *P. paneum* and the difference with fungicide (66.7%) was insignificant ($p > 0.05$). However, the difference between both treatments and the control was very significant ($p < 0.001$) (Figure 6, Table 1).

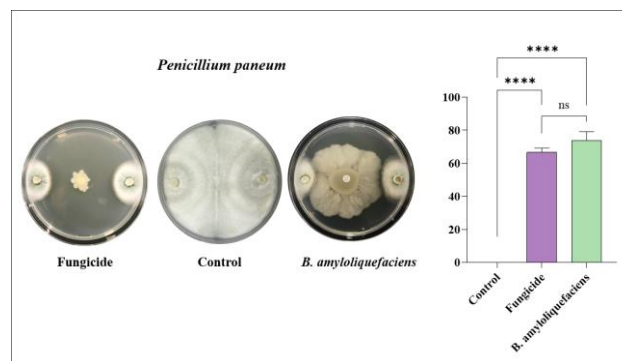


Figure 6. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *P. paneum* and inhibition rates (****: $p < 0.001$, ns: non-significant).

The highest efficacy against *A. fumigatus* was obtained from the fungicide treatment (73.0%) and the difference with the bacterial treatment (60.3%) was very significant ($p < 0.001$). However, the bacterial treatment achieved a very good inhibition rate compared to the control and the difference with the control was very significant ($p < 0.001$) (Figure 7, Table 1). Similarly, Singh et al., (2015) reported that the lysate of *B. amyloliquefaciens* DSM-1067 strain completely inhibited the growth of *A. fumigatus* and *A. flavus*.

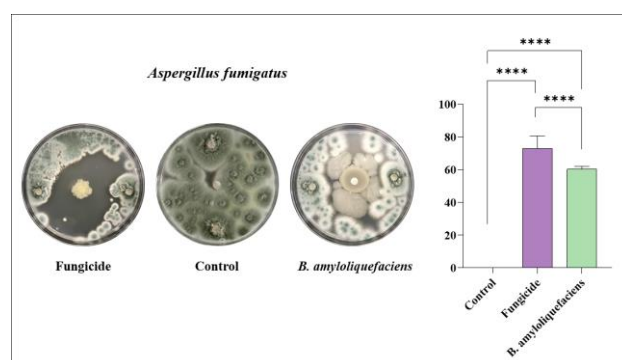


Figure 7. Antagonistic effect of *B. amyloliquefaciens* N33 on the growth of *A. fumigatus* and inhibition rates (****: $p < 0.001$).

Considering all the results obtained in the study, *B. amyloliquefaciens* N33 showed the highest inhibition rate against *P. digitatum*, followed by *P. expansum*, *P. paneum*, *P. citrinum*, *P. verrucosum*, *F. graminearum* and *A. fumigatus* in descending order (Table 1). The difference between the inhibition rates obtained against *P. expansum* and other fungi was statistically significant ($p < 0.05$). In the

fungicide treatment, the highest efficacy was again obtained against *P. digitatum* and the difference between the inhibition rates obtained against other fungi was significant ($p < 0.05$). (Table 1). The efficacy of the fungicide against *P. citrinum*, *P. expansum*, *P. verrucosum*, *P. paneum* and *A. fumigatus* was statistically similar ($p > 0.05$).

Table 1. Efficacy of fungicide and bacterial treatments on different fungi.

Fungi	Inhibition Rates (%)		
	Control $\pm$ SD	<i>B. amyloliquefaciens</i> $\pm$ SD	Fungicide $\pm$ SD
<i>F. graminearum</i>	0 $\pm$ 0 ^c	60.8 $\pm$ 1.8 ^{D,a}	36.1 $\pm$ 2.5 ^{C,b}
<i>P. digitatum</i>	0 $\pm$ 0 ^b	94.2 $\pm$ 2.6 ^{A,a}	91.7 $\pm$ 3.8 ^{A,a}
<i>P. expansum</i>	0 $\pm$ 0 ^b	82.5 $\pm$ 10.8 ^{B,a}	75 $\pm$ 7.6 ^{B,a}
<i>P. citrinum</i>	0 $\pm$ 0 ^b	67.5 $\pm$ 4.3 ^{CD,a}	67.1 $\pm$ 4.4 ^{B,a}
<i>P. verrucosum</i>	0 $\pm$ 0 ^c	61.4 $\pm$ 1.4 ^{D,b}	71.1 $\pm$ 4.9 ^{B,a}
<i>P. paneum</i>	0 $\pm$ 0 ^b	73.9 $\pm$ 5.2 ^{BC,a}	66.7 $\pm$ 2.6 ^{B,a}
<i>A. fumigatus</i>	0 $\pm$ 0 ^c	60.3 $\pm$ 1.8 ^{D,b}	73.0 $\pm$ 7.7 ^{B,a}

According to the HSD Tukey multiple comparison test, capital letters in the table represent differences within each column, and lowercase letters represent differences within each row, SD: Standard deviation.

Considering all the results obtained within the scope of the study, it was observed that *B. amyloliquefaciens* N33 showed good activity against all tested fungi and supported the results in the literature.

CONCLUSION

In this study, *B. amyloliquefaciens* N33 strain isolated from lettuce was tested against 7 different fungi (*P. citrinum*, *P. expansum*, *P. verrucosum*, *P. digitatum*, *P. paneum*, *F. graminearum* and *A. fumigatus*) and high inhibition rates were obtained. The strain showed higher activity than tebuconazole against *F. graminearum*, *P. digitatum*, *P. expansum* and *P. paneum*, while its activity against other fungi (*P. citrinum*, *P. verrucosum* and *A. fumigatus*) was lower or similar to tebuconazole. The broad-spectrum antifungal activity of the strain strengthens its potential for use in the biological control of many disease agents. Further research is needed to evaluate the effects of N33 on relevant disease agents *in vivo* and to fully characterize its antifungal activity.

REFERENCES

- Abbas, A., & Yli-Mattila, T. (2022). Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a causal agent of Fusarium head blight of wheat, and deoxynivalenol accumulation: From in vitro to in planta. *Toxins*, **14**(5), 299. DOI: 10.3390/toxins14050299
- Albayrak, Ç.B. (2019). *Bacillus* Species as Biocontrol Agents for Fungal Plant Pathogens. In: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Boehme, M., Haesaert, G. (eds) *Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol*. Bacilli in Climate Resilient Agriculture and Bioprospecting. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-15175-1_13
- Avan, M., Albastawisi, E.M., Levent, Y.D., İşlek, S., & Kotan, R. (2024). Evaluation of *Bacillus amyloliquefaciens* TV-17C as a potential biocontrol agent for controlling postharvest *Penicillium digitatum* on orange. *Journal of Phytopathology*, **172**(3), e13345. DOI: 10.1111/jph.13345
- Baard, V., Bakare, O.O., Daniel, A.I., Nkomo, M., Gokul, A., Keyster, M., & Klein, A. (2023). Biocontrol potential

- of *Bacillus subtilis* and *Bacillus tequilensis* against four *Fusarium* species. *Pathogens*, **12**(2), 254. DOI: 10.3390/pathogens12020254
- Calvo, H., Marco, P., Blanco, D., Oria, R., & Venturini, M.E. (2017). Potential of a new strain of *Bacillus amyloliquefaciens* BUZ-14 as a biocontrol agent of postharvest fruit diseases. *Food microbiology*, **63**, 101-110. DOI: 10.1016/j.fm.2016.11.004
- Chen, K., Tian, Z., Luo, Y., Cheng, Y., & Long, C.A. (2018). Antagonistic activity and the mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* DH-4 against citrus green mold. *Phytopathology*, **108**(11), 1253-1262. DOI: 10.1094/PHYTO-01-17-0032-R
- Cruz-Martín, M., Mena, E., Acosta-Suárez, M., Pichardo, T., Rodríguez, E., & Alvarado-Capó, Y. (2020). Protein compounds of *Bacillus subtilis* with in vitro antifungal activity against *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet). *Brazilian Journal of Microbiology*, **51**, 265-269. DOI: 10.1007/s42770-019-00136-9
- Dadrasnia, A., Usman, M.M., Omar, R., Ismail, S., & Abdullah, R. (2020). Potential use of *Bacillus* genus to control of bananas diseases: Approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, **32**(4), 2336-2342. DOI: 10.1016/j.jksus.2020.03.011
- Deguine, J.P., Aubertot, J.N., Flor, R.J., Lescourret, F., Wyckhuys, K.A., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **41**(3), 38. DOI: 10.1007/s13593-021-00689-w
- Dikbaş, N., Uçar, S., Tozlu, E., Kotan, M.S., & Kotan, R. (2023). Antifungal activity of partially purified bacterial chitinase against *Alternaria alternata*. *Erwerbs-obstbau*, **65**(4), 761-766. DOI: 10.1007/s10341-022-00716-4
- Dobrzyński, J., Jakubowska, Z., Kulkova, I., Kowalczyk, P., & Kramkowski, K. (2023). Biocontrol of fungal phytopathogens by *Bacillus pumilus*. *Frontiers in Microbiology*, **14**, 1194606. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1194606
- Dukare, A.S., Singh, R.K., Jangra, R.K., & Bhushan, B. (2022). Non-fungicides-based promising technologies for managing post-production penicillium induced spoilage in horticultural commodities: a comprehensive review. *Food Reviews International*, **38**(3), 227-267. DOI: 10.1080/87559129.2020.1727497
- Huang, L.R., Ling, X.N., Peng, S.Y., Tan, M.H., Yan, L. Q., Liang, Y.Y., Li, G.H., & Li, K.T. (2023). A marine lipopeptides-producing *Bacillus amyloliquefaciens* HY2-1 with a broad-spectrum antifungal and antibacterial activity and its fermentation kinetics study. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, **39**(8), 196. DOI: 10.1007/s11274-023-03643-y
- Jabnoun-Khiareddine, H., Aydi-Ben-Abdallah, R., & Daami-Remadi, M. (2023). Multi-species endophytic *Bacillus* for improved control of potato soilborne and tuberborne diseases in Tunisia: from laboratory to field conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, **33**(1), 109. DOI: 10.1186/s41938-023-00753-5
- Krishnan, S.V., Nampoothiri, K.M., Suresh, A., Linh, N.T., Balakumaran, P.A., Pócsi, I., & Pusztahelyi, T. (2024). *Fusarium* biocontrol: antagonism and mycotoxin elimination by lactic acid bacteria. *Frontiers in Microbiology*, **14**, 1260166. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1260166

- Li, X., Zhang, Y., Wei, Z., Guan, Z., Cai, Y., & Liao, X. (2016). Antifungal activity of isolated *Bacillus amyloliquefaciens* SYBC H47 for the biocontrol of peach gummosis. *PLoS one*, **11**(9), e0162125. DOI: [10.1371/journal.pone.0162125](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162125)
- Liu, X., Cao, A., Yan, D., Ouyang, C., Wang, Q., & Li, Y. (2021). Overview of mechanisms and uses of biopesticides. *International Journal of Pest Management*, **67**(1), 65-72. DOI: [10.1080/09670874.2019.1664789](https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1664789)
- Mosa, M.A., Youssef, K., Hamed, S.F., & Hashim, A.F. (2023). Antifungal activity of eco-safe nanoemulsions based on *Nigella sativa* oil against *Penicillium verrucosum* infecting maize seeds: Biochemical and physiological traits. *Frontiers in microbiology*, **13**, 1108733. DOI: [10.3389/fmicb.2022.1108733](https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1108733)
- Saleh, A.E., Ul-Hassan, Z., Zeidan, R., Al-Shamary, N., Al-Yafei, T., Alnaimi, H., Salah Higazy, N., Migheli, Q., & Jaoua, S. (2021). Biocontrol activity of *Bacillus megaterium* BM344-1 against toxigenic fungi. *ACS omega*, **6**(16), 10984-10990. DOI: [10.1021/acsomega.1c00816](https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00816)
- Settler-Ramírez, L., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Fontana, A., Strub, C., & Schorr-Galindo, S. (2021). New isolated *Metschnikowia pulcherrima* strains from apples for postharvest biocontrol of *Penicillium expansum* and patulin accumulation. *Toxins*, **13**(6), 397. DOI: [10.3390/toxins13060397](https://doi.org/10.3390/toxins13060397)
- Singh, A., Balhara, M.E.E.N.A.K.S.H.I., Singh, B.H.A. R.A.T., & Chhillar, A.K. (2015). In vitro evaluation of antifungal potential and electron microscopic studies of *Bacillus amyloliquefaciens* against *Aspergillus* species. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, **7**, 316-320.
- Soliman, S.A., Abdelhameed, R.E., & Metwally, R.A. (2023). In vivo and In vitro evaluation of the antifungal activity of the PGPR *Bacillus amyloliquefaciens* RaSh1 (MZ945930) against *Alternaria alternata* with growth promotion influences on *Capsicum annuum* L. plants. *Microbial Cell Factories*, **22**(1), 70. DOI: [10.1186/s12934-023-02080-8](https://doi.org/10.1186/s12934-023-02080-8)
- Soliman, S.A., Khaleil, M.M., & Metwally, R.A. (2022). Evaluation of the antifungal activity of *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. velezensis* and characterization of the bioactive secondary metabolites produced against plant pathogenic fungi. *Biology*, **11**(10), 1390. DOI: [10.3390/biology11101390](https://doi.org/10.3390/biology11101390)
- Tang, K.H.D. (2025). Effects of Microplastics on Bioavailability, Persistence and Toxicity of Plant Pesticides: An Agricultural Perspective. *Agriculture*, **15**(4), 356. DOI: [10.3390/agriculture15040356](https://doi.org/10.3390/agriculture15040356)
- Trung, N.T., Thao, N.T., Le Thanh, N.S., Dai Nguyen, N.P., Tuyet, N.T.A., Cuong, N.T., Chan, S.S., Khoo, K.S., & Show, P.L. (2023). Antifungal activity of secondary metabolites purified from *Bacillus subtilis* isolated in Vietnam and evaluated on in vitro and in vivo models. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **179**, 105558. DOI: [10.1016/j.ibiod.2022.105558](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2022.105558)
- Ul Hassan, Z., Al Thani, R., Alnaimi, H., Migheli, Q., & Jaoua, S. (2019). Investigation and application of *Bacillus licheniformis* volatile compounds for the biological control of toxigenic *Aspergillus* and *Penicillium* spp. *ACS omega*, **4**(17), 17186-17193. DOI: [10.1021/acsomega.9b01638](https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01638)
- Wang, Z., Sui, Y., Li, J., Tian, X., & Wang, Q. (2022). Biological control of postharvest fungal decays in citrus: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **62**(4), 861-870. DOI: [10.1080/10408398.2020.1829542](https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1829542)
- Wei, L., Yang, C., Cui, L., Jin, M., & Osei, R. (2023). *Bacillus* spp. isolated from pepper leaves and their function and inhibition of the fungal plant pathogen *Colletotrichum scovillei*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, **33**(1), 46. DOI: [10.1186/s41938-023-00686-z](https://doi.org/10.1186/s41938-023-00686-z)
- Xie, S., Jiang, L., Wu, Q., Wan, W., Gan, Y., Zhao, L., & Wen, J. (2022). Maize root exudates recruit *Bacillus amyloliquefaciens* OR2-30 to inhibit *Fusarium graminearum* infection. *Phytopathology*, **112**(9), 1886-1893. DOI: [10.1094/PHYTO-01-22-0028-R](https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-22-0028-R)
- Xu, S., Wang, Y., Hu, J., Chen, X., Qiu, Y., Shi, J., Wang G., & Xu, J. (2021). Isolation and characterization of *Bacillus amyloliquefaciens* MQ01, a bifunctional biocontrol bacterium with antagonistic activity against *Fusarium graminearum* and biodegradation capacity of zearalenone. *Food Control*, **130**, 108259. DOI: [10.1016/j.foodcont.2021.108259](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108259)
- Xu, X., Cheng, Y., Fang, Z., Yin, J., Shen, H., & Ma, D. (2022). Identification and utilization of a new *Bacillus amyloliquefaciens* XY-1 against *Fusarium* head blight. *Frontiers in Plant Science*, **13**, 1055213. DOI: [10.3389/fpls.2022.1055213](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055213)
- Yi, Y., Luan, P., Fan, M., Wu, X., Sun, Z., Shang, Z., Yang, Y., & Li, C. (2024). Antifungal efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* ZK-9 against *Fusarium graminearum* and analysis of the potential mechanism of its lipopeptides. *International Journal of Food Microbiology*, **422**, 110821. DOI: [10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110821](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110821)
- Zeidan, R., Hassan, Z. U., Ashfaq, M. Y., Al-Thani, R., & Jaoua, S. (2024). Investigation of heat-resistant antifungal agents from *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis* for biocontrol of mycotoxigenic fungi. *Environmental Technology & Innovation*, **36**, 103748. DOI: [10.1016/j.eti.2024.103748](https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103748)
- Zhao, W., Hong, S.Y., Kim, J.Y., & Om, A.S. (2024). Effects of temperature, pH, and relative humidity on the growth of *Penicillium paneum* OM1 isolated from pears and its patulin production. *Fungal Biology*, **128**(4), 1885-1897. DOI: [10.1016/j.funbio.2024.05.005](https://doi.org/10.1016/j.funbio.2024.05.005)



Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: I. Mera Durumu Tespiti^[*]

Necati Anıl ARIKAN¹ Adil BAKOĞLU^{2*}

¹Çaydır İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Burdur, Türkiye.

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Pazar Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Rize, Türkiye.

Geliş Tarihi: 30.04.2025

Kabul Tarihi: 05.06.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Arıkan, N.A., & Bakoğlu, A. (2025). Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: I. Mera Durumu Tespiti. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 366-373. <https://doi.org/10.35229/jaes.1687445>

How to cite: Arıkan, N.A., & Bakoğlu, A. (2025). Determination of Botanical Composition and Pasture Quality of Beyazsu Plateau (Borçka/ARTVİN): I. Pasture Status Detection. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 366-373. <https://doi.org/10.35229/jaes.1687445>

*<https://orcid.org/0000-0003-1189-8461>

<https://orcid.org/0000-0001-7903-0875>

*Sorumlu yazarın:

Adil BAKOĞLU

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Pazar

Meslek Yüksek Okulu, Pazar/Rize/Türkiye.

✉: adil.bakoglu@erdogan.edu.tr

Öz: Bu çalışma, Artvin ili Borçka ilçesi Beyazsu Yaylası mera alanının vejetasyon özelliklerini ve mera kalitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. 2022 yılı Temmuz ayında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında, Lup metoduyla mera vejetasyonunun toprağı kaplama ve botanik kompozisyon oranları belirlenmiş ve mera kalitesi hesaplanmıştır. Araştırma alanında toplam toprağı kaplama oranı %80.20 olarak tespit edilirken, Buğdaygiller familyasının botanik kompozisyon oranı %4.59, Baklagiller familyasının %7.72, diğer familyaların ise %87.68 olarak belirlenmiştir. Mera kalite derecesi 0.83 olarak hesaplanmış olup mera durumu "Çok Zayıf" olarak sınıflandırılmıştır. Alanda 42 cinse ait toplam 48 takson saptanmıştır. Sonuçlar, yüksek orana sahip "Diğer Familyalar" grubunun düşük mera kalitesine katkıda bulunduğunu, buna karşılık Buğdaygiller ve Baklagillerin mera kalitesini olumlu etkilediğini göstermektedir. Mevcut durum, mera alanının iyileştirilmesi için yönetimsel müdahalelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Artvin, beyazsu yaylası, botanik kompozisyon, mera kalitesi.

Determination of Botanical Composition and Pasture Quality of Beyazsu Plateau (Borçka/ARTVİN): I. Pasture Status Detection^[*]

Abstract: This study aims to evaluate the vegetation characteristics and pasture quality of the pasture area of Beyazsu Plateau in Borçka district of Artvin province. In July 2022, soil coverage and botanical composition of pasture vegetation were determined and pasture quality was calculated by Lup method. In the research area, the total soil coverage ratio was determined as 80.20%, while the botanical composition ratio of the *Poaceae* family was determined as 4.59%, the *Fabaceae* family as 7.72% and the other families as 87.68%. The pasture quality grade was calculated as 0.83 and the pasture condition was classified as "Very Weak". A total of 48 taxa belonging to 42 genera were identified in the area. The results show that the "Other Families" group with a high proportion contributes to the low pasture quality, whereas *Poaceae* and *Fabaceae* have a positive effect on pasture quality. The current situation reveals the necessity of management interventions to improve the pasture area.

Keywords: Artvin, beyazsu plateau, botanical composition, pasture quality.

GİRİŞ

Türkiye'nin kendine has coğrafi yapısı ve yer şekillerinin çeşitliliği, ülkeyi üç temel bitki coğrafyası bölgesine ayırmaktadır: Akdeniz, Avrupa-Sibirya ve İran-Turan (Akdeniz, 2009). Bu bölgelerin her biri, özgün iklim ve toprak özelliklerine sahip olup, bu durum farklı bitki topluluklarının ve tür zenginliğinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Güncel çalışmalar, Türkiye'de yaklaşık 12.000 farklı bitki türünün bulunduğunu ve bu türler arasında yüksek oranda endemik türün yer aldığını ortaya koymaktadır.

Çayır ve mera alanları, hayvanların besin gereksinimini karşılamının ötesinde, genetik kaynak ve biyolojik çeşitliliğin oluşumunda kritik ekolojik roller üstlenir (Carlier vd., 2005). Ek olarak, toprak erozyonunun önlenmesi yoluyla toprak muhafazasında da önemli bir işleve sahiptirler. Türkiye'deki çayır ve meralar, ülkenin hayvan popülasyonunun yıllık ham protein ihtiyacının %68'ini ve nişasta ihtiyacının %62'sini karşılamaktadır (Babalık & Sarıkaya, 2015).

Türkiye'de uzun süredir devam eden erken ve aşırı otlatma ile bakım ve iyileştirme çalışmalarının yetersizliği, meralarda ot üretiminin düşmesine ve bitki örtüsünün zarar

^[*] Bu makale, Necati Anıl ARIKAN yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

^[*] This manuscript was produced from Necati Anıl ARIKAN's master thesis.

görmesine neden olmuştur (Yavuz & Sürmen, 2016; Sürmen & Kara, 2018). Bu durumdaki ot kalitesi düşmüş ve verimi azalmış meraların ıslah edilerek nitelikli hale getirilmesi ve yüksek ot veriminin sağlanması önem arz etmektedir. Bu hedefle, mera arazilerinin verimlilik düzeylerini yükseltmek için o bölgeye uygun bitki örtüsü araştırmaları yapılmalıdır. Türk vd. (2003)'ne göre, bitki örtüsü incelemeleri ve ölçümleri, bitki örtüsü hakkında bilgi sahibi olunmayan çayır ve meraların niteliksel ve niceliksel özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Türkiye'nin Rize ili ve yakın çevresindeki yüksek rakımlı mera alanlarında vejetasyon özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, bu bölgelerin bitki örtüsü ve mera kalitesi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bakoğlu vd. (2021a) tarafından Rize'nin İkizdere ilçesi Anzer yaylasında 2020 yılında gerçekleştirilen bir araştırmada, lup metodu kullanılarak bitki örtüsünün toprağı kaplama alanı, botanik kompozisyonu, mera kalite derecesi ve mera durumu parametreleri incelenmiştir. Vejetasyonun en yoğun olduğu Haziran ayında yapılan bu çalışmada, 21 familyaya ait toplam 45 takson belirlenmiş olup, mera alanının %72'lik bir toprağı kaplama oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Botanik kompozisyon incelendiğinde ise *Poaceae* familyasının %26,32, *Fabaceae* familyasının %8,92 ve diğer familyaların %64,76 oranında olduğu görülmüştür. Elde edilen 1,95 mera kalite derecesi, meranın durumunun "Çok Zayıf" olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Çatal vd., (2024) tarafından 2020 yılında Erzurum'un İspir ilçesi Çayırözü mahallesindeki meralarda lup metoduyla yürütülen bir çalışmada da toprağı kaplama ve botanik kompozisyon oranları ile mera kalite derecesi ve durumu değerlendirilmiştir. Temmuz ayında, vejetasyonun olgunlaştığı dönemde yapılan bu araştırmada, *Poaceae* ve *Fabaceae* familyalarının dokuz takson içerdiği ve diğer familyalarla birlikte toplam 59 taksonun bulunduğu belirlenmiştir. Meranın toplam toprağı kaplama oranı %67,66 olarak ölçülmüş, botanik kompozisyonda *Poaceae* %21,33, *Fabaceae* %19,46 ve diğer familyalar %59,21 oranında temsil edilmiştir. 2,98 mera kalite derecesi ile bu meranın durumu "Zayıf" olarak sınıflandırılmıştır. Yine 2020 yılında Baykal vd., (2024b) tarafından Erzurum'un İspir ilçesi Yedigöller bölgesindeki meralarda yapılan bir çalışmada ise botanik kompozisyon, toprak örtüsü ve mera kalitesi araştırılmıştır. Lup metoduyla yapılan bu çalışmada 44 takson tespit edilmiş olup, en baskın familyaların *Asteraceae* (%13), *Poaceae* (%8) ve *Lamiaceae* (%4) olduğu belirlenmiştir. Genel toprak örtüsü %70,29 olarak saptanırken, vejetasyon örtüsünde *Poaceae* türleri %40,38, *Fabaceae* %3,55 ve diğer familyalar %56,07 oranında yer almıştır. 2,17 kalite indeksi ile meranın kalitesi "Düşük" olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgular, belirtilen bölgelerdeki mera alanlarının genellikle düşük kalitede

olduğunu ve iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, Artvin ilinin Borçka ilçesinde konumlanan Beyazsu yaylası mera alanındaki bitki örtüsünün botanik kompozisyonunu ortaya koymak amacıyla detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yayla meralarında bulunan bitki türleri ve familyaları sistematik olarak belirlenmiş, eş zamanlı olarak mera vejetasyonunun toprağı kaplama oranı ve botanik kompozisyonu nicel olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, Beyazsu yaylası meralarının mevcut kalite derecesi ve mera durum sınıfı bilimsel metotlarla değerlendirilerek, bu önemli doğal alanın mevcut durumu hakkında kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Artvin ilinin Borçka ilçesine bağlı Alaca, Kaynarca ve Balcı köylerinin ortak kullanım alanı olan Beyazsu Yaylası'nın Alaca köyü sınırları içindeki bölümünde gerçekleştirilmiştir. Beyazsu Yaylası, Borçka ilçe merkezine yaklaşık 48 kilometre mesafede konumlanmakta olup, deniz seviyesinden tahmini olarak 2000 metre yüksekliktedir. Çalışma alanının konumu Şekil 1'de ve çalışma alanına ait bazı görseller Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.
Figure 1. Location of the study area.

Araştırma alanına ait toprak analizleri, örneklerin %64.1 saturasyon derecesiyle killi-tınlı bir yapıya, asidik karaktere (pH 5.03) ve düşük tuz (%0.33) ile kireç (%0.36) oranına sahip olduğunu göstermiştir. Besin maddeleri açısından incelendiğinde, organik madde (%2.59) ve fosfor (P_2O_5 , 4.93 kg/da) orta düzeyde bulunurken, potasyum (K_2O , 32.79 kg/da) içeriği yeterli olarak belirlenmiştir. Borçka ilçesinin uzun yıllara (1988-2021) ve 2022 yılına ait iklimsel verileri sırasıyla; toplam yağışın 1386.6 ve 1053.4 mm; ortalama sıcaklık değerleri 13.9 ve 14.5 °C; ortalama nispi nem değeri ise %74.3 ve 72.7 şeklindedir (Anonim, 2023).



Şekil 2: Çalışma alanından çekilen fotoğraflar.
Figure 2: Photographs taken from the study area.

Metod: Bu çalışma kapsamında, 2022 yılı Temmuz ayında, vejetasyonun tam olgunluk döneminde arazi çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmanın temel materyalini, belirlenen mera alanlarından özenle toplanan bitki örnekleri oluşturmaktadır. Her bir taksonu temsilen üçer adet bitki örneği alınmış ve Erik vd., (1996) tarafından belirtilen herbaryum tekniklerine uygun olarak kurutulmuş ve kartonlara monte edilmiştir. Hazırlanan bu bitki materyalleri, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ziraat

Fakültesi herbaryumunda saklanmaktadır. Bitki örneklerinin teşhis süreçlerinde, Türkiye ve Ege Adaları Florası (Davis, 1965-1985; Davis vd., 1988) ile Güner vd., (2000) gibi temel floristik kaynaklardan yararlanılmıştır. Familya, takson ve yazar adlarının belirlenmesinde ise Güner vd., (2012)'nin sınıflandırma sistemi esas alınmış ve takson ile yazar isimlerinin doğruluğu Euro+Med Plant Base (2020) veri tabanı üzerinden teyit edilmiştir.

Mera vejetasyonunun özellikleri, Lup metoduyla incelenmiştir. Bu yöntemde, 20 cm aralıklarla ölçümler alınarak 20 metre uzunluğunda bir hat oluşturulmuştur. Bu hat üzerinde toplam 100 nokta belirlenmiş ve her noktada saptanan bitki türleri kayıt altına alınmıştır. Ardından, bu noktalara denk gelen bitkilerin tüm toprak üstü kısımları toplanarak tür teşhisi yapılmıştır.

İstatistikî analiz: Çalışma alanının istatistiksel analizi için Tosun'un (1968) önerdiği metot kullanılarak belirlenen 5 ana hat ve her bir ana hat, 10 hat bölümden oluşan ölçümler yapılmıştır. Bitki örtüsünü oluşturan türlerin oransal dağılımı, lup ölçümleriyle saptanan bitki kaplı alanların toplam alana bölünmesiyle hesaplanmıştır (Gökkuş vd., 1993). Her bir bitki türünün yem kalitesi, Gökkuş vd., (1993) ile Bakoğlu'nun (1999) belirttiği ölçütler ve Anonim (2008)'in sunduğu -1 ile 10 arasındaki puanlama sistemi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu puanlar, ilgili bitki türünün toplam oransal değeriyle çarpılarak mera kalite indeksi oluşturulmuştur. Hesaplanan bu indeks, De Vries vd., (1951) tarafından geliştirilen mera durum sınıflandırmasına göre (0,0-2,0: Çok Düşük, 2,1-4,0: Düşük, 4,1-6,0: Orta, 6,1-8,0: İyi, 8,1-10,0: Çok İyi) yorumlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma alanında belirlenen bitki türleri, bu türlerin bağlı olduğu familyalar, Türkçe adları, toprak yüzeyini kaplama oranları, botanik kompozisyon içindeki yüzdeleri ve buna bağlı olarak mera derecelendirmeleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Ayrıca, familyaların toprağı kaplama alanı ve botanik yapıdaki oransal dağılımları Şekil 3'de grafik aracılığıyla görsel olarak ifade edilmiştir.

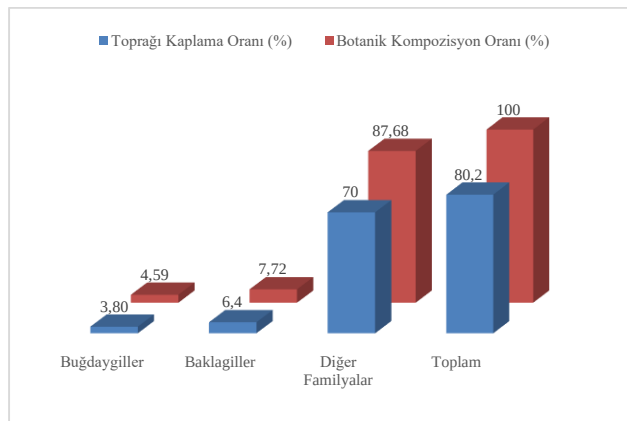
Çizelge 1. Beyazsu yaylasının mera alanında bulunan bitkilerin familyaları, taksonları, toprağı kaplama ve botanik kompozisyon oranları, mera kalite dereceleri.

Table 1. Families, taxa, canopy cover and botanical composition ratios, pasture quality degree of the plants found in the pasture area of Beyazsu plateau.

No	Familya	Takson	Türkçe Adı	DS	TKO	BK	MKD
POACEAE							
1	Poaceae	<i>Agrostis capillaris</i> var. <i>capillaris</i> L.	Karahasanotu	7	2.60	3.14	0.22
2	Poaceae	<i>Alopecurus aucheri</i> Boiss.	Kaba Tilkikuyruğu	3	0.60	0.72	0.02
3	Poaceae	<i>Poa pratensis</i> L.	Çayır Salkımotu	7	0.60	0.73	0.05
Toplam					3.80	4.59	0.29
FABACEAE							
1	Fabaceae	<i>Trifolium montanum</i> L. subsp. <i>humboldtianum</i> (A.Braun & Asch.) Hossain	Dağ Üçgülü	8	2.20	2.65	0.21
2	Fabaceae	<i>Colutea armena</i> Boiss. & A.Huet	Hokurdak	7	1.80	2.20	0.15
3	Fabaceae	<i>Astragalus fragrans</i> Willd.	Mis Geven	4	1.20	1.44	0.06
4	Fabaceae	<i>Trifolium ochroleucum</i> Huds.	Mızrak Üçgülü	8	1.20	1.44	0.12
Toplam					6.40	7.72	0.54

DİĞER FAMILİYALAR							
1	Amaryllidaceae	Allium schoenoprasum L.	Peynir Sirmosu	3	0.60	0.75	0.02
2	Apiaceae	Pimpinella corymbosa Boiss.	Salkım Anason	0	2.0	3.41	0.00
3	Asteraceae	Anthemis triumfetti (L.) All.	Papatya	0	1.0	1.23	0.00
4	Asteraceae	Artemisia vulgaris L.	Kaba Yavşan	2	1.00	1.33	0.03
5	Asteraceae	Carlina vulgaris L.	Deli Domuzdikeni	0	2.40	2.89	0.00
6	Asteraceae	Crepis conyzifolia (Gouan) A.Kern.	Kuzey Kiskısı	3	4.20	5.07	0.15
7	Asteraceae	Lapsana communis L.	Şebrek	4	1.00	1.21	0.05
8	Asteraceae	Leontodon hispidus L.	Gulikazer	0	1.60	1.93	0.00
9	Asteraceae	Pilosella hoppeana (Schult.) F.W.Schultz & Sch.Bip. subsp. testimonialis (Nägeli ex Peter) P.D.Sell & C.West	Saplı Tırnakotu	0	1.80	2.29	0.00
10	Boraginaceae	Myosotis olympica Boiss.	Ulu Boncukotu	3	1.00	1.21	0.04
11	Brassicaceae	Bunias orientalis L.	Çır Şalgamı	1	1.00	1.21	0.01
12	Campanulaceae	Campanula lactiflora M.Bieb.	Kuspida	0	1.30	1.45	0.00
13	Caryophyllaceae	Cerastium pumilum Curtis	Eğri Boynuzotu	7	1.20	1.45	0.10
14	Caryophyllaceae	Silene gallica L.	Serçe çiçeği	1	2.00	2.43	0.02
15	Caryophyllaceae	Silene vulgaris (Moench) Garcke	Ecibüğü	1	1.20	1.45	0.01
16	Crassulaceae	Sedum album L.	Çoban Kavurgası	0	2.40	2.92	0.00
17	Crassulaceae	Sedum hispanicum L.	Damkoruğu	0	2.50	2.88	0.00
18	Cistaceae	Helianthemum salicifolium (L.) Mill.	Söğüt Güngülü	3	1.00	1.21	0.04
19	Dryopteridaceae	Dryopteris filix-mas (L.) Schott	Erkek Eğrelti	1	2.00	2.41	0.02
20	Lamiaceae	Ajuga orientalis L.	Dağmayası	0	0.80	0.97	0.00
21	Lamiaceae	Galeopsis ladanum L.	Kedibaşı	0	0.40	0.48	0.00
22	Lamiaceae	Clinopodium vulgare subsp. vulgare L.	Yabani Fesleğen	1	2.00	2.41	0.02
23	Lamiaceae	Mentha longifolia subsp. longifolia (L.) L.	Pünk	2	1.00	1.20	0.02
24	Lamiaceae	Mentha pulegium L.	Yarpuz	2	2.00	2.41	0.05
25	Lamiaceae	Prunella vulgaris L.	Gelinciklemeotu	2	6.80	9.32	0.19
26	Lamiaceae	Thymus praecox Opiz	Yayla Kekigi	2	3.20	3.89	0.08
27	Hypericaceae	Hypericum montanum L.	Dağ Kantaronu	-1	3.40	4.09	-0.04
28	Juncaceae	Juncus conglomeratus L.	Hasır Sazı	0	2.80	3.40	0.00
29	Onagraceae	Epilobium montanum L.	Dağ Yakısı	1	3.20	4.88	0.05
30	Onagraceae	Epilobium parviflorum Schreb.	İraz Yakıotu	0	0.60	0.72	0.00
31	Orchidaceae	Dactylorhiza urvilleana (Steudel) Baumann & Künkele	Balkaymak	2	0.60	0.72	0.01
32	Orobanchaceae	Euphrasia hirtella Jord. ex Reut.	Yayla Gözotu	0	0.80	0.97	0.00
33	Orobanchaceae	Rhinanthus angustifolius C.C.Gmel.	Horoz Otu	-1	1.60	1.93	-0.02
34	Plantaginaceae	Veronica gentianoides Vahl	Kandil Çiçeği	1	0.80	0.97	0.01
35	Polygonaceae	Polygonum bistorta subsp. bistorta L.	Çimeneveleği	1	0.80	0.97	0.01
36	Primulaceae	Primula elatior subsp. pallasii (Lehm.) W.W.Sm. & Forrest	Sarı Tutya	0	1.40	1.69	0.00
37	Ranunculaceae	Ranunculus flammula L.	Kaymak Çiçeği	-1	0.80	0.96	-0.01
38	Ranunculaceae	Ranunculus illyricus L.	Gümüş Dügünçiçeği	-1	0.80	0.96	-0.01
39	Rosaceae	Alchemilla pseudocartalinica Juz.	Kartalpençesi	1	1.20	1.44	0.01
40	Rosaceae	Potentilla crantzii (Crantz) Fritsch	Beşparmakotu	0	2.20	2.66	0.00
41	Thymelaeaceae	Daphne glomerata Lam.	Ezentere	0	1.60	1.93	0.00
Toplam					70.00	87.68	0.00
GENEL TOPLAM					80.20	100	0.83

DS: Değer Sayısı, TKO: Toprağı Kaplama Oranı, BK: Botanik Kompozisyon, MKD: Mera Kalite Derecesi



Şekil 3. Familyaların Toprağı Kaplama ve Botanik Kompozisyon Oranları (%).

Figure 3. Canopy Cover and Botanical Composition Rates (%) of Families.

Araştırma bölgesinde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 1'de özetlenmektedir. Çizelge 1'e göre, *Poaceae* familyası araştırma alanında %3,80'lik toprağı kaplama oranına ve %4,59'luk botanik kompozisyon oranına sahipken, bu

familyanın mera kalite derecesi 0,29 olarak belirlenmiştir. *Fabaceae* familyası ise %6,40'lık toprağı kaplama oranı ve %7,72'lik botanik kompozisyon oranı ile temsil edilmekte olup, mera kalite derecesi 0,54 olarak tespit edilmiştir. Dikkat çekici bir şekilde, "Diğer Familyalar" kategorisi %70,00 gibi yüksek bir toprak kaplama oranına ve %87,68'lik baskın bir botanik kompozisyon oranına sahip olmasına rağmen, bu grubun mera kalite derecesi 0,00 olarak saptanmıştır. Genel olarak, incelenen alandaki toplam toprağı kaplama oranı %80,20 ve toplam botanik kompozisyon oranı %100,00 olarak hesaplanmış olup, ortalama mera kalite derecesi 0,83 olarak hesaplanmış ve mera durumu ise "Çok Zayıf" olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, alandaki bitki familyalarının toprağı kaplama oranları ve botanik yapıdaki dağılımlarının mera kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle "Diğer Familyalar" grubunun yüksek oransal varlığına rağmen düşük mera kalitesi, bu grupta yer alan türlerin mera verimliliği açısından daha az değerli olabileceğine işaret etmektedir.

Araştırma alanında 42 cinse ait toplam 48 takson tespit edilmiştir. Familyaların takson sayıları: *Poaceae* (3), *Fabaceae* (4), *Amaryllidaceae* (1), *Apiaceae* (1), *Asteraceae* (7), *Boraginaceae* (1), *Brassicaceae* (1), *Campanulaceae* (1), *Caryophyllaceae* (3), *Crassulaceae* (2), *Cistaceae* (1), *Dryopteridaceae* (1), *Lamiaceae* (7), *Hypericaceae* (1), *Juncaceae* (1), *Onagraceae* (2), *Orchidaceae* (1), *Orobanchaceae* (2), *Plantaginaceae* (1), *Polygonaceae* (1), *Primulaceae* (1), *Ranunculaceae* (2), *Rosaceae* (2) ve *Thymelaeaceae* (1) şeklindedir.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan botanik kompozisyon ve mera durumu çalışmaları, bölgeler arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmada elde edilen veriler, diğer araştırmaların bulgularıyla karşılaştırıldığında dikkat çekici benzerlikler ve ayrılmalar sergilemektedir. Örneğin, Faretörbay (2007)'ın Erzurum Palandöken'deki çalışmasında buğdaygillerin baskın (%56,28) olduğu, baklagillerin ise daha düşük oranda (%10,47) temsil edildiği görülmektedir. Benzer şekilde, Babalık & Sarıkaya (2015)'nin Isparta Zengi merasındaki bulguları da buğdaygillerin yüksek (%63,51) oranına işaret etmektedir. Bilgin & Özalp (2016)'ın çalışması da buğdaygillerin (%46,19) baskınlığını desteklemektedir. Araştırmamızda elde edilen buğdaygil oranı (%4,59) bu diğer çalışmalara kıyasla oldukça düşüktür. Baklagillerin oranına ilişkin elde ettiğimiz bulgumuz (%7,72) ise Faretörbay (2007) ve Sürmen & Kara (2018)'nin bulgularına yakinken, Babalık & Sarıkaya (2015) ve Bilgin & Özalp (2016)'ın çalışmalarına göre daha düşüktür. Diğer familyaların oranı ise çalışmamızda %87,68 olarak tespit edilmiş olup, diğer çalışmalara kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Toprak örtüsü oranları incelendiğinde, bu araştırmada elde edilen %80,20'lik değer, İspirli vd., (2016) (%83,34) ve Uzun vd. (2016) (%93,57) çalışmalarına yakinken, Faretörbay (2007) (%39) ve Babalık & Ercan (2018) (%51,2) çalışmalarına göre daha yüksektir. Çağan & Başbağ (2016)'ın Bingöl meralarındaki %68,19'luk örtü oranı da bulgularımızdan düşüktür.

Bu çalışmada mera kalite derecesi açısından elde edilen 0,29'luk değer, Çınar vd., (2019)'nin Adana meralarındaki 2,40-3,92 aralığındaki "Zayıf" kategorisindeki değerlerden oldukça düşüktür. İspirli vd. (2016) ve Uzun vd. (2016)'nin çalışmalarında farklı kalite sınıflamaları belirlenmiştir. Araştırmamızda elde edilen düşük mera kalite derecesi dikkat çekicidir. Bu farklılıklar, bölgeler arasındaki iklim, toprak yapısı, hayvan otlatma baskısı ve yönetim uygulamaları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Sonuç olarak, Türkiye meralarının botanik kompozisyonu ve mera durumu bölgelere göre önemli ölçüde değişkenlik göstermekte olup, her bölgeye özgü yönetim stratejilerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Mevcut araştırma alanına komşu diğer meralarda botanik kompozisyon ve mera kondisyonunu belirlemeye yönelik yürütülen önceki çalışma sonuçları ve mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, araştırmamızda Beyazsu Yaylası'nda toplam toprağı kaplama oranı %80,20 olarak belirlenmiştir. Bölgedeki farklı yayalarda yapılan diğer çalışmalarda bu değer, değişkenlik göstermektedir. Örneğin, Bakoğlu vd. (2019)'nın Handüzü Yaylası'nda belirlediği %82,40'lık oran Beyazsu Yaylası'na yakın bir değer sergilerken, Çatal vd. (2019)'nin Ovit Yaylası için bulduğu %63,40'lık oran daha düşüktür. Benzer şekilde, Rize yaylalarında yapılan çalışmalarda da farklı toprağı kaplama oranları tespit edilmiştir (Çizelge 2) (Bakoğlu & Çatal, 2020; Bakoğlu vd., 2021a; Bakoğlu vd., 2021b; Baykal vd., 2020; Baykal vd., 2021; Çatal vd., 2020). Bu farklılıklar, yaylaların yükseltisi, maruz kaldığı otlatma basıncı, toprak özellikleri ve iklimsel faktörler gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanabilir.

Çizelge 2 botanik kompozisyon açısından incelendiğinde, Beyazsu Yaylası'nda *Poaceae* (Buğdaygiller) familyasının %4,59'luk bir oranla temsil edildiği görülmektedir. *Fabaceae* (Baklagiller) familyasının oranı ise %7,72 olarak belirlenmiştir. Diğer familyaların toplam botanik kompozisyonundaki payı ise %87,68'dir. Bu bulgu, Beyazsu Yaylası'nın botanik çeşitliliği açısından zengin olduğunu göstermektedir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, botanik kompozisyonunda *Poaceae* ve *Fabaceae* familyalarının oranları önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Çizelge 2). Bu durum, yaylaların ekolojik koşulları ve yönetsel uygulamalarındaki farklılıklar ile ilişkilendirilebilir.

Mera kalite derecesi açısından Beyazsu Yaylası, 0,83 değer ile "Çok Zayıf" kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu sonuç, yaylanın mevcut durumu itibarıyla otlatma kapasitesinin düşük olduğunu ve iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Beyazsu Yaylası'nın "Çok Zayıf" olarak değerlendirilmesi, aşırı otlatma, yanlış otlatma yönetimleri veya olumsuz çevresel koşulları gibi faktörlerden kaynaklanabilir.

SONUÇ

Bu çalışma, Artvin ili Borçka ilçesi Beyazsu Yaylası'nın Alaca köyü sınırları içerisindeki mera alanının vejetasyon özelliklerini ve mera kalitesini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, incelenen mera alanının genel olarak "Çok Zayıf" durumda olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Beyazsu yaylası mera alanının bölgedeki diğer mera alanlarında yapılan çalışmalarla karşılaştırılması.**Table 2.** Comparison of Beyazsu plateau common pasture area with studies conducted in nearby common pasture areas.

Çalışma Alanı	Takson Sayıları				Botanik Kompozisyon Oranları (%)			Toplam Toprağı Kaplama Oranı (%)	Meranın Kalite Derece	Meranın Durumu	Kaynak
	Poaceae	Fabaceae	Diğer Familyalar	Toplam	Poaceae	Fabaceae	Diğer Familyalar				
Handüzü Yaylası (Güneysu/RİZE)	4	4	33	41	33,37	5,75	60,88	82,40	2,46	Zayıf	Bakoğlu vd., (2019)
Ovit Yaylası (İkizdere/RİZE)	6	4	35	45	39,35	6,61	54,04	63,40	1,98	Çok zayıf	Çatal vd., (2019)
Elevit Yaylası (Çamlıhemşin/RİZE)	8	4	37	49	34,86	14,20	50,94	96,80	3,58	Zayıf	Bakoğlu ve Çatal, (2020)
Trovit Yaylası (Çamlıhemşin/RİZE)	4	2	32	38	21,24	13,66	65,10	79,15	2,36	Zayıf	Çatal vd., (2020)
Palovit Yaylası (Çamlıhemşin/RİZE)	6	1	18	25	54,98	2,88	42,14	70,75	2,38	Zayıf	Baykal vd., (2020)
Zorkal Yaylası (İkizdere/RİZE)	5	4	38	47	13,07	28,11	58,82	83,40	2,65	Zayıf	Bakoğlu vd., (2021a)
Leğiş Yaylası (İkizdere/RİZE)	4	4	31	39	12,90	28,24	58,86	78,92	2,63	Zayıf	Baykal vd., (2021)
Anzer Yaylası (İkizdere/RİZE)	5	3	37	45	26,32	8,92	64,76	72,00	1,95	Çok zayıf	Bakoğlu vd., (2021b)
Yoncalı Köyü (Merkez/BAYBURT)	13	7	37	57	30,49	20,12	49,39	67,50	2,93	Zayıf	Çatal vd., (2022)
Kükürtlü Mahallesi (Araklı/TRABZON)	6	4	43	53	17,00	7,00	76,00	-	2,01	Zayıf	Çatal vd., (2023)
Ulutaş Mahallesi (İspir/ERZURUM)	7	12	49	68	14,70	33,14	52,16	84,75	3,59	Zayıf	Baykal vd., (2024a)
Çayırözü Mahallesi (İspir/ERZURUM)	9	9	41	59	21,33	19,46	59,21	67,66	2,98	Zayıf	Çatal vd., (2024)
Yedigöller Bölgesi (İspir/ERZURUM)	8	2	34	44	40,38	3,55	56,07	70,29	2,17	Zayıf	Baykal vd., (2024b)
Beyazsu Yaylası (Borçka/ARTVİN)	3	4	41	48	4,59	7,72	87,68	80,20	0,83	Çok Zayıf	

Bitki familyalarının dağılımı incelendiğinde, mera kalitesini olumlu yönde etkileyen *Poaceae* ve *Fabaceae* familyaları yanında, kalite üzerine olumsuz etki yapan "Diğer Familyalar" tespit edilmiştir. Araştırma alanında toplam 48 taksonun tespit edilmiş olması, bölgenin bitki çeşitliliği açısından potansiyelini göstermekle birlikte, baskın olan "Diğer Familyalar" grubunun düşük mera kalitesi, mevcut yönetim stratejilerinin ve otlatma uygulamalarının mera ekosistemi üzerindeki olumsuz etkilerine işaret edebilir.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, Beyazsu Yaylası'nın vejetasyon özellikleri ve mera durumu, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki diğer yaylalarla karşılaştırıldığında farklılıklar göstermektedir. Toplam toprağı kaplama oranı nispeten yüksek olsa da botanik kompozisyonunda baskın türlerin olmaması ve mera kalite derecesinin düşük olması, yaylanın mevcut durumunun iyileştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, Beyazsu Yaylası'nın vejetasyonunu ve mera kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerin belirlenmesi sürdürülebilir otlatma yönetim stratejilerinin geliştirilmesi açısından önem taşıyacaktır. Bu bağlamda, otlatma baskısının kontrol altına alınması, uygun türlerle ıslah çalışmaları yapılması ve mera yönetim planlarının oluşturulması gibi önlemler değerlendirilebilir. Sonuç olarak, Beyazsu Yaylası'nın incelenen bölümündeki mera alanının iyileştirilmesi için, "Diğer Familyalar" grubunda yer alan düşük kaliteli türlerin yayılımını kontrol altına alacak ve *Poaceae* ile *Fabaceae* gibi değerli yem bitkilerinin oranını artıracak yönetsel müdahalelerin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, S. (2009).** *Ayaş-Kazan-Yenikent arasında kalan bölgenin florası*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. (2008).** *Türkiye'nin çayır ve mera bitkileri*. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayınları, 468s.
- Anonim. (2023).** T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Artvin İl Müdürlüğü Kayıtları.
- Babalık, A.A., & Ercan, A. (2018).** Eskişehir ili Karaören köyü merasının vejetasyon özelliklerinin belirlenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, **19**(3), 246-251. DOI: 10.18182/tjf.429166
- Babalık, A.A., & Sarıkaya, H. (2015).** Isparta ili Zengi merasında ot verimi ve botanik kompozisyonun tespiti üzerine bir araştırma. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, **16**(2), 96-101. DOI: 10.18182/tjf.04456
- Bakoğlu, A. (1999).** *Otlatılan ve korunan iki farklı mera kesiminin bazı toprak ve bitki örtüsü özelliklerinin karşılaştırılması*. Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bil. Ens. Erzurum, Türkiye, 128s.
- Bakoğlu, A., & Çatal, M.İ. (2020).** Elevit yaylasının (Rize-Çamlıhemşin) mera kalitesinin değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **5**(3), 283-289. DOI: 10.35229/jaes.733401
- Bakoğlu, A., Baykal, H., & Çatal, M.İ. (2021b).** A Research on the Determination of the Botanical Composition of the High Altitudes of Anzer

- Region (İkizdere-RİZE). *International Journal of Scientific and Technological Research*, 7(10), 14-19. DOI: [10.7176/JSTR/7-10-02](https://doi.org/10.7176/JSTR/7-10-02)
- Bakoğlu, A., Baykal, H., & Çatal, M.İ. (2019). Handüzü yaylasının botanik kompozisyonu üzerine bir çalışma. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(9), 1339-1343. DOI: [10.24925/turjaf.v7i9.1339-1343.2561](https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i9.1339-1343.2561)
- Bakoğlu, A., Baykal, H., & Çatal, M.İ. (2021a). Determination of Pasture Characteristics and Botanical Composition of Zorkal Plateau (İkizdere-RİZE). *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 72-76. DOI: [10.35229/jaes.786349](https://doi.org/10.35229/jaes.786349)
- Baykal, H., Bakoğlu, A., & Çatal, M. İ. (2021). Legiş yaylasının (İkizdere-RİZE) botanik kompozisyonunun belirlenmesi. *Eurasian Journal of Forest Science*, 9(2), 63-69. DOI: [10.31195/ejefjs.907727](https://doi.org/10.31195/ejefjs.907727)
- Baykal, H., Çatal, M.İ., & Bakoğlu, A. (2020). Çamlıhemşin-Palovit yaylasının botanik kompozisyonu üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Forestry*, 21(2), 136-140. DOI: [10.18182/tjf.619962](https://doi.org/10.18182/tjf.619962)
- Baykal, H., Çatal, M.İ., & Bakoğlu, A. (2024a). Ulutaş Mahallesinin (İspir/ERZURUM) Botanik Kompozisyonu ve Mera Durumunun Belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(4), 669-675. DOI: [10.35229/jaes.1478335](https://doi.org/10.35229/jaes.1478335)
- Baykal, H., Çatal, M.İ., & Bakoğlu, A. (2024b). Determination of Botanical Composition and Rangeland Status of Yedigöller Region (Erzurum/Türkiye). *Eurasian Journal of Forest Science*, 12(3), 114-123. DOI: [10.31195/ejefjs.1539258](https://doi.org/10.31195/ejefjs.1539258)
- Bilgin, F., & Özalp, M. (2016). Yükselti değişimlerinin orman üstü meraların vejetasyon yapısı ve toprak özellikleri üzerine etkilerinin irdelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 135-147. DOI: [10.17474/acuofd.20913](https://doi.org/10.17474/acuofd.20913)
- Carlier, L., De Vlieghe, D., Van Cleemput, O., & Boeckx, P. (2005). Importance and functions of European grasslands. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 70, 5-15.
- Çaçan, E., & Başbağ, M. (2016). Bingöl ili merkez ilçesi Yelesen-Dikme köylerinin farklı yöney ve yükseltilerde yer alan mera kesimlerinde botanik kompozisyon ve ot veriminin değişimi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 53(1), 1-9. DOI: [10.20289/zfdergi.179864](https://doi.org/10.20289/zfdergi.179864)
- Çatal, M.İ., Bakoğlu, A., & Baykal, H. (2022). Bayburt ili Yoncalı köyü merasının mera durumunun belirlenmesi. *Eurasian Journal of Forest Science*, 10(3), 108-115. DOI: [10.31195/ejefjs.1096122](https://doi.org/10.31195/ejefjs.1096122)
- Çatal, M.İ., Baykal, H., & Bakoğlu, A. (2019). Ovit yaylasının (İkizdere-RİZE) botanik kompozisyonunun belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 435-440. DOI: [10.35229/jaes.600149](https://doi.org/10.35229/jaes.600149)
- Çatal, M.İ., Baykal, H., & Bakoğlu, A. (2020). Determination of botanical composition of Çamlıhemşin-Trovit plateau. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8(3), 181-189. DOI: [10.31195/ejefjs.726529](https://doi.org/10.31195/ejefjs.726529)
- Çatal, M.İ., Baykal, H., & Bakoğlu, A. (2023). A Research on the Botanical Composition of Kükürtlü Neighborhood (Araklı/TRABZON). *Eurasian Journal of Forest Science*, 11(2), 92-99. DOI: [10.31195/ejefjs.1191838](https://doi.org/10.31195/ejefjs.1191838)
- Çatal, M.İ., Baykal, H., & Bakoğlu, A. (2024). Çayırözü Mahallesinin (İspir/ERZURUM) Toprağı Kaplama Oranı, Botanik Kompozisyon ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(4), 697-702. DOI: [10.35229/jaes.1478345](https://doi.org/10.35229/jaes.1478345)
- Çınar, S., Hatipoğlu, R., Avcı, M., Yücel, C. & İnal, İ. (2019). Adana ili Tufanbeyli ilçesi meralarının vejetasyon yapısı üzerine bir araştırma. *KSÜ Tar Doğa Derg* 22(1), 143-152, DOI: [10.18016/ksutarimdoga.vi.448421](https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.448421)
- Davis, P.H. (1965-1985). *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, Vol. 1-9, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R.R. & Tan, K. (1988). *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, Vol. 10, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- De Vries, D.M., De Boer, T.A. & Dirver, J.P.P. (1951). Evalation of grassland by botanical research in the Netherlands. In Proc. *United National Sci. Conf. on the Conservation and Utilization of Resources*, 6, 522-524.
- Erik, S., Guner, A., Yıldırım, Ş. & Sümbül, H. (1996). Tohumlu bitkiler sistematigi laboratuvar kılavuzu. Literature Yayınları, Ankara.
- Euro+Med Plant Base. (2020). <http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/query.asp/> [Accessed 16 September 2020].
- Faretörbay D. (2007). *Palandöken Dağında Farklı Rakıma Sahip Mera Kesimlerinin Bitki Örtülerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bil. Ens. Tarla Bit. Anabilim Dalı Erzurum.

- Gökkuş, A., Koç, A., & Çomaklı, B. (1993).** *Çayır-mera uygulama kılavuzu*. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No:142, A.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., & Babaç, M. T. (ed.). (2012).** *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., & Başer, K.H.C. (2000).** *Flora of Turkey*. Vol. 11. Edinburgh: University Press.
- İspirli, K., Alay, F., Uzun, F., & Çankaya, N. (2016).** Doğal meralardaki vejetasyon örtüsü ve yapısı üzerine otlatma ve topografyanın etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 14-22. DOI: [10.19159/tutad.76350](https://doi.org/10.19159/tutad.76350)
- Sürmen, M., & Kara, E. (2018).** Aydın ili ekolojik koşullarında farklı eğimlerdeki mera vejetasyonlarının verim ve kalite özellikleri. *Derim*, 35(1), 67-72, DOI: [10.16882/derim.2018.343428](https://doi.org/10.16882/derim.2018.343428)
- Tosun, F. (1968).** *Doğu Anadolu kıraç meralarının ıslahında uygulanabilecek teknik metodların tesbiti üzerine bir araştırma*. Ziraat Araştırma Enstitüsü Araştırma Bülteni No: 29, Ankara.
- Türk, M., Bayram, G., Budaklı, E., & Çelik, N. (2003).** Sekonder mera vejetasyonunda farklı ölçüm metodlarının karşılaştırılması ve mera durumunun belirlenmesi. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, Bursa*, 17(1): 65-77.
- Uzun, F., Alay, F., & İspirli, K. (2016).** Bartın ili meralarının bazı özellikleri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 3(2), 174-183. DOI: [10.19159/tutad.54652](https://doi.org/10.19159/tutad.54652)
- Yavuz, T., & Sürmen, M. (2016).** Vegetation features of alpine and subalpine rangelands in Eastern Black Sea region. *Scientific Papers Series A Agronomy*, 54, 474-477.



Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: II. Meranın Verim ve Besin Madde İçeriklerinin Zamansal Değişimi^[*]

Necati Anıl ARIKAN¹ Adil BAKOĞLU^{2,*}

¹Çavdır İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Burdur, Türkiye.

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Pazar Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Rize, Türkiye.

Geliş Tarihi: 30.04.2024

Kabul Tarihi: 02.06.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Arıkan, N.A., & Bakoğlu, A. (2025). Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: II. Meranın Verim ve Besin Madde İçeriklerinin Zamansal Değişimi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(4), 374-380. <https://doi.org/10.35229/jaes.1687480>

How to cite: Arıkan, N.A., & Bakoğlu, A. (2025). Determination of Botanical Composition and Pasture Quality of Beyazsu Plateau (Borçka/ARTVİN): II. Temporal Variation of Pasture Yield and Nutrient Content. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(4), 374-380. <https://doi.org/10.35229/jaes.1687480>

*<https://orcid.org/0000-0003-1189-8461>
<https://orcid.org/0000-0001-7903-0875>

***Sorumlu yazarın:**

Adil BAKOĞLU
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Pazar
Meslek Yüksek Okulu, Pazar/Rize/Türkiye.
✉: adil.bakoglu@erdogan.edu.tr

Öz: Bu çalışma, Artvin'in Borçka ilçesi Beyazsu Yaylası'nda 2022 yılı Temmuz ve Ekim ayları arasında yürütülmüş olup, mera alanının yaş ve kuru ot verimleri ile besin madde içeriklerinin zamansal değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında belirlenen dokuz farklı konumda yerleştirilen tel kafesler içerisindeki otlar, 30 günlük periyotlarla toprak yüzeyinden biçilerek örnekleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kuru ot verimi biçim zamanlarına bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir. Besin madde içerikleri analizlerinde ise ham protein, ADF, NDF, ADP, P, K, Ca ve Mg oranlarında zamansal farklılıklar gözlemlenmiştir. Ham protein oranı baklagillerde ilk biçimde %19.04 iken, son biçimde %15.21 olarak ölçülmüştür. Ayrıca, sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri (NYD) gibi kalite parametreleri de zamansal olarak değişkenlik göstermiştir. Belirlenen Ca/P ve K/(Ca+Mg) oranları ise mineral dengesi hakkında bilgi sunmuştur. Bu çalışma, Beyazsu Yaylası otlaklarının verim ve besin kalitesinin zamansal dinamiklerini ve familyalar arası farklılıklarını ortaya koyarak, sürdürülebilir otlak yönetimi ve hayvan besleme stratejileri için önemli veriler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Beyazsu yaylası, besin madde içeriği, ot verimi, yem kalitesi, zamansal değişim.

Determination of Botanical Composition and Pasture Quality of Beyazsu Plateau (Borçka/ARTVİN): II. Temporal Variation of Pasture Yield and Nutrient Content^[*]

Abstract: This study was carried out in Beyazsu Plateau of Borçka district of Artvin between July and October 2022 and aimed to determine the temporal changes in green forage and dry matter yields and nutrient contents of the pasture area. The herbage in the wire cages placed in nine different locations in the study area were sampled by mowing from the soil surface at 30-day intervals. The results showed significant changes in dry matter yield depending on the cutting time. In nutrient content analysis, temporal differences were observed in crude protein, ADF, NDF, ADP, P, K, Ca and Mg ratios. The crude protein content in legumes was measured as 19.04% in the first cut and 15.21% in the last cut. Furthermore, quality parameters such as digestible dry matter (DDM), dry matter intake (DMI), and relative feed value (RFV) also varied temporally. The determined Ca/P and K/(Ca+Mg) ratios provided information about mineral balance. This study provides important data for sustainable pasture management and animal feeding strategies by revealing the temporal dynamics and inter-family differences in the yield and nutritional quality of Beyazsu Plateau pasture.

Keywords: Beyazsu plateau, nutrient content, forage yield, feed quality, temporal variation.

GİRİŞ

Hayvancılık sektöründe yem giderleri, işletmelerin karlılığını önemli ölçüde etkileyen temel maliyet unsurlarından biridir. Bu nedenle, sürdürülebilir hayvancılık uygulamaları açısından ekonomik kaba yem kaynaklarının önemi büyüktür ve çayırlerle meralar bu kaynakların başında gelmektedir. Dünya genelindeki hayvancılık faaliyetlerinde kullanılan kaba yemin yaklaşık %70'inin meralardan

karşılandığı belirtilmektedir (Lund, 2007). Bu veri, meraların hayvancılık sektörü için kritik bir doğal kaynak olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ancak günümüzde, artan insan popülasyonu, iklim değişikliğinin tetiklediği çevresel sorunlar ve ekonomik belirsizlikler, meralardan elde edilen kaliteli kaba yeme olan talebi sürekli olarak artırmaktadır. Bu durum, meraların korunması ve sürdürülebilir kullanımının ne kadar önemli olduğunu

^[*] Bu makale, Necati Anıl ARIKAN yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

^[*] This manuscript was produced from Necati Anıl ARIKAN's master thesis.

göstermektedir. Meraların farklı amaçlarla, örneğin tarım arazilerine dönüştürülmesi, yerleşim alanlarının genişletilmesi veya aşırı otlatma gibi kullanımları, bu değerli doğal kaynakların sağladığı faydaları ciddi biçimde azaltmaktadır. Bu durum, meraların etkin bir şekilde korunması ve sürdürülebilir yönetim ilkeleri doğrultusunda kullanılması hem hayvancılık sektörünün geleceği hem de ekolojik dengenin korunması açısından hayati bir zorunluluktur.

Aşırı otlatma, özellikle kurak bölgelerde mera verimliliğini düşürüp ekolojik dengeyi bozarak ciddi hasara yol açmaktadır (Snyman, 2005; Holechek et al., 2011). Meraların sürdürülebilir kullanımı için yönetim ilkelerine uygun stratejiler ve mera popülasyonlarının korunması önemlidir. Risk altındaki bölgelerde rehabilitasyon çalışmaları ve mevcut durum analizi şarttır; herhangi bir ıslah yöntemi öncesinde vejetasyon özelliklerinin detaylı incelenmesi gereklidir (Çınar vd., 2014; Çınar vd., 2016). Ayrıca, yem kalitesi otun besin değeriyle doğrudan ilişkili olup, lezzet, tüketim oranı, sindirilebilirlik gibi faktörler ile iklim, mevsim, bitki kompozisyonu gibi çevresel etkenlerden etkilenir (Kirilov, 2001; Kaya, 2008).

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin önemli yaylalarından biri olan Handüzü Yaylası'ndaki meranın besin değeri ve mineral madde içeriği, bölgedeki hayvan beslenmesi ve mera alanlarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir (Çatal ve Bakoğlu, 2025a). Bu bağlamda Çatal ve Bakoğlu (2025a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 2018 yılında Handüzü Yaylası merasından toplanan bitki örneklerinin besin madde (KM, HP, ADF, NDF, ADP, SKM, KMT, NYD, SE, ME) ve mineral madde (P, K, Ca, Mg) içerikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, Handüzü Yaylası merasının özellikle ham protein ve mineral madde içerikleri bakımından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koyarken, yüksek lif oranlarının da dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bölgeye yakın bir konumda yer alan Erzurum'un İspir ilçesindeki meralarda da benzer çalışmalar yürütülmüştür. Örneğin, Çatal (2025) tarafından Yedigöller bölgesi merasının bitki örtüsünün besin madde içeriği ve kalitesi incelenmiş ve meranın orta düzeyde bir besin değerine sahip olduğu, ancak yüksek lif oranlarının sindirilebilirliği olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Yine İspir ilçesine bağlı Çayırözü Mahallesi meralarında Bakoğlu ve Çatal (2025) tarafından yapılan bir çalışmada ise ot kalitesinin orta düzeyde olduğu, lif içeriğinin yüksek olduğu ve mineral madde dengesinin genellikle uygun olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Çatal ve Bakoğlu (2025b) tarafından Ulutaş Mahallesi meralarında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da otların kuru madde içeriğinin yüksek, ancak ham protein ve enerji içeriklerinin orta düzeyde, lif içeriklerinin ise nispeten yüksek olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu çalışmalar, Doğu Karadeniz ve çevresindeki yüksek rakımlı

mera ekosistemlerinin hayvan beslenmesi açısından taşıdığı önemi ve bu meraların besin değerlerinin belirlenmesine yönelik bilimsel ilginin son yıllarda arttığını açıkça göstermektedir.

Farklı bölgelerde yapılan çalışmalara bakıldığında; Taşdemir ve Kökten (2015) tarafından Elazığ ili, Karakoçan ilçesi, Bahçecik Köyü'nde doğal bir meranın dört farklı yöneyin verim ve kalite açısından karşılaştırılması amacıyla yaptığı çalışmada, mera kuru otunun en yüksek ham protein oranının (%12.2) kuzey yöneyinde olduğu belirlenmiştir. Ham protein verimi, mera yöneylerine bağlı olarak 15.4 kg/da ile 26.5 kg/da arasında değişmiş ve mera yöneylerinin bu açıdan istatistiksel olarak önemli olmadığı ortaya çıkmıştır. Araştırma sonucunda, Ham kül, ADF, NDF, SKM, KMT ve NYD sırasıyla %8.5-11.3, %34.0-37.0, %49.0-56.0, %60.1-62.4, %2.17-2.52 ve 103.0- 118.4 arasında değişmiştir. Tutar ve Kökten (2019) tarafından Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Bingöl ili, Merkez ilçesi, Ormanardı Köyü'nde bulunan doğal bir meranın dört değişik yöneyinin verim ve kalite bakımından karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Araştırma sonucunda, HP verimi ve HP oranı, ADF, NDF, KMT, SKM ve NYD sırasıyla; 2.3-16.7, % 9.9-12.9, % 34.8-37.4, % 52.5-62.7, % 1.92-2.08, % 59.7- 61.7 ve 91.8-109.4 arasında olduğu tespit edilmiştir. Kökten ve Tanrıverdi (2020) tarafından yapılan çalışmada da, araştırmada sonucunda Ham kül, NDF, ADF, SKM, KMT oranları ve NYD sırası ile %6.4-8.7, %57.0-59.8, %21.2-34.0, %62.4-72.3, %2.00-2.10 ve 102.0-112.5 arasında belirlenmiştir.

Bu çalışma, Artvin ilinin Borçka ilçesi Beyazsu yaylası meralarında yetişen bitki örtüsünün besin değerlerini ve mineral içeriğini detaylı bir şekilde araştırmayı amaçlamıştır. Meraların sürdürülebilir yönetimi ve hayvan besleme etkinliği açısından bitki örtüsünün yapısal ve besinsel özelliklerinin doğru analizi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, Beyazsu yaylasından toplanan bitki numuneleri üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı laboratuvar analizleri ile temel besin maddeleri ve mineral kompozisyonları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bölgedeki hayvancılık faaliyetlerinde meraların daha verimli kullanım potansiyelini ortaya koyarak, yöreye özgü mera yönetim stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel bir zemin oluşturması hedeflenmiştir.

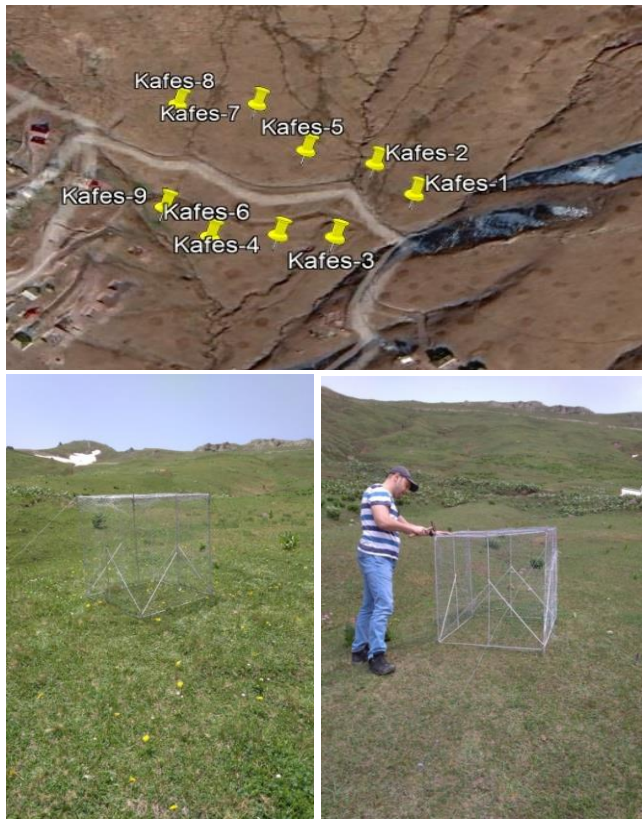
MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Artvin'in Borçka ilçesine bağlı Alaca, Kaynarca ve Balcı köylerinin ortak kullanım alanı olan Beyazsu Yaylası'nın Alaca köyü sınırları içerisinde, Borçka merkezine yaklaşık 48 km mesafede ve yaklaşık 2000 metre yükseklikteki bölümünde yürütülmüştür. Çalışma alanının lokasyonu Şekil 1'de ve çalışma alanının bazı görselleri ise Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Artvin ilinin lokasyonu.

Figure 1. Location of Artvin province.



Şekil 2. Beyazsu yaylasına yerleştirilen kafesler ve çalışma alanından görseller.

Figure 2. Cages placed in Beyazsu plateau and visuals from the study area.

Araştırma sahasına ait toprak analizleri, %64.1'lik bir doygunluk oranıyla killi-tınlı bir bünyeye işaret etmektedir. Toprakların asidik bir yapıda olduğu (pH 5.03) ve düşük seviyelerde tuz (%0.33) ile kireç (%0.36) içerdiği belirlenmiştir. Besin maddeleri açısından değerlendirildiğinde ise organik madde (%2.59) ve fosfor (4.93 kg/da P_2O_5) içeriklerinin orta düzeyde olduğu, buna karşın potasyum (32.79 kg/da K_2O) içeriğinin yeterli seviyede bulunduğu saptanmıştır. Borçka ilçesine ait uzun yıllar (1988-2021) ve 2022 yılı iklim verileri incelendiğinde, toplam yağış miktarlarının sırasıyla 1386.6 mm ve 1053.4 mm olduğu görülmektedir. Ortalama sıcaklık değerleri ise uzun yıllar için 13.9 °C ve 2022 yılı için 14.5 °C olarak kaydedilmiştir. Ortalama nispi nem değerleri de benzer

şekilde uzun yıllar için %74.3 ve 2022 yılı için %72.7 olarak tespit edilmiştir (Anonim, 2023).

Metot: Bu araştırma, 2022 yılının Temmuz ve Ekim ayları arasında Artvin'in Borçka ilçesindeki Beyazsu Yaylası'nda yürütülmüştür. Çalışma alanında belirlenen 9 farklı konumda, 1x1 metrelik kare şeklinde 9 adet tel kafes yerleştirilmiş olup, bu kafesler içerisindeki yeşil otlar 30 günlük periyotlarla toplam 4 kez biçilerek örnekler alınmıştır. Bu çalışmanın birinci aşaması botanik kompozisyon ve mera durumu hakkında bilgi verilmiştir (Beyazsu Yaylasının (Borçka/ARTVİN) Botanik Kompozisyonu ve Mera Kalitesinin Belirlenmesi: I. Mera Durumu Tespiti). İkinci aşamasında ise bu çalışmada verdiğimiz yem kalite özellikleri incelenmiştir.

Yem kalite özelliklerinde, alınan yeşil ot numunelerinin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüş ve kilogram/dekar (kg/da) cinsine çevrilmiştir. Kuru ot veriminin belirlenmesi amacıyla, biçilen yeşil otlar 70 °C'de 48 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Elde edilen kuru ot ağırlıkları da kg/da'a çevrilerek ortalama kuru ot verimi hesaplanmıştır. Elde edilen kuru otlarda familyalarına göre (buğdaygiller, baklagiller ve diğer familyalar) ayrılmış ve besin madde içeriklerinin analizi için, kurutulup öğütülen (1 mm elek çapı) örneklerde ham protein, ADF, NDF, ADP, P, K, Ca ve Mg oranları NIRS cihazı (Foss NIRSystems, Model 6500 Win ISI II v1.5) kullanılarak belirlenmiştir.

ADF ve NDF değerlerinden sindirilebilir kuru madde ($SKM = 88.9 - (0.779 \times \%ADF)$ (Oddy vd., 1983); kuru madde tüketimi ($KMT = 120 / (\%NDF)$ (Sheaffer vd., 1995) ve nispi yem değeri ($NYD = (SKM \times KMT) / 1.29$ (Sheaffer vd., 1995)) hesaplanmış, ayrıca makro element içeriklerine göre Ca/P ve K/(Ca+Mg) oranları da belirlenmiştir.

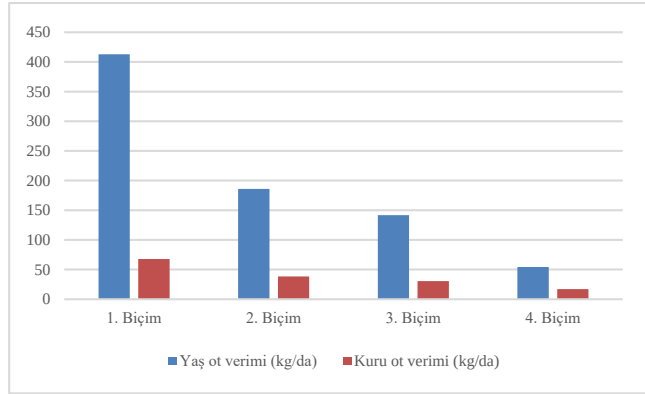
İstatistik Analiz: Elde edilen verilere ait özellikler, JMP 13.2 istatistik programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunan farklılıklar ($P < 0.05$) LSD çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yeşil ot ve kuru ot verimine ilişkin elde edilen F oranları ve yaş ot verimi değerleri Tablo 1 ve Şekil 3'te, familyaların biçim zamanına göre elde edilen kalite değerleri ise Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Beyazsu Yaylasının verime ait F oranları ile yaş ve kuru ot verimleri (kg/da)

Table 1. F ratios of yield and green and dry herbage yield of Beyazsu Plateau (kg/da)		
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	F Oranı
Tekerrür	1.4876	3.6502
Biçim	39.9837**	15.2325**
Biçim	Yeşil ot verimi (kg/da)**	Kuru ot verimi (kg/da)**
1. Biçim	413.0 a	67.7a
2. Biçim	186.0 b	38.3 b
3. Biçim	141.7 b	30.7 bc
4. Biçim	54.3 c	17.0 c
Ortalama	198.8	38.4



Şekil 3. Beyazsu yaylasından elde edilen yeşil ot ve kuru ot verimi değerleri (kg/da) grafiği.

Figure 3. Graph of green and dry herbage yield values (kg/ha) obtained from Beyazsu Plateau.

Tablo 1’de yeşil ot verimi biçim zamanına göre istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermektedir ($P<0.01$). Araştırma alanından elde edilen ortalama yeşil ot verimi 198.8 kg/da olup, bu değer biçim zamanlarına göre 54.3 kg/da ile 41.00 kg/da arasında değişmektedir (4. biçim - 1. biçim). Biçim zamanlarındaki bu dalgalanmanın, o tarihlerde meradaki bitkilerin farklı yaşam döngüsü evrelerinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Tablo 1 incelendiğinde kuru ot verim değerlerinin de biçim zamanına göre istatistiksel olarak önemli olduğu ($P<0.01$) görülmektedir. Yeşil olarak biçilen otların 70 °C’de 48 saat kurutulmasıyla elde edilen ortalama kuru ot verimi ise 38.4 kg/da olarak belirlenmiş olup, bu değerler biçim

zamanlarına göre 17.0 kg/da ile 67.7 kg/da arasında (4. biçim - 1. biçim) farklılık göstermektedir.

Tablo 2’ye bakıldığında, ham protein oranları biçim, aile ve biçim*aile etkileşimi açısından önemli farklılıklar göstermiş ($P<0.01$) ve %13.47-20.78 aralığında değişim göstermiştir. Baklagillerde en yüksek ham protein oranları 2. ve 3. biçimlerde (%15.21-20.78), buğdaygillerde 3. biçimde (%13.47-17.19), diğer ailelerde ise 1. biçimde (%14.26-18.67) belirlenmiştir. ADF oranları ise biçim ve aile etkileşiminden önemli ölçüde etkilenmiştir ($P<0.01$), etkileşim önemsiz bulunmuştur. ADF değerleri %25.45-33.98 arasında değişmekte olup, baklagillerde en düşük ve buğdaygillerde en yüksek olarak elde edilmiştir. ADF oranı açısından en yüksek değer ikinci biçimden alınmıştır. NDF oranları biçim, aile ve etkileşimden önemli ölçüde etkilenmiştir ($P<0.01$; $P<0.01$; $P<0.05$) ve %41.41-63.50 aralığında değişim göstermiştir. NDF oranı açısından en yüksek değer buğdaygillerden elde edilirken en düşük değer baklagillerde belirlenmiştir. NDF oranı açısından en yüksek değer dördüncü biçim zamanından elde edilmiştir. Etkileşim açısından ise en yüksek değer buğdaygil (4. biçim), en düşük değer ise baklagilden (3. biçim) alınmıştır. ADP oranları da biçim, aile ve etkileşimden önemli derecede etkilenmiştir ($P<0.01$) ve %0.74-1.23 arasında değişim göstermiştir. Baklagillerde en düşük ADP 1. biçimde (%0.77-1.09), buğdaygillerde 2. biçimde (%0.74-1.08) ve diğer ailelerde 1. biçimde (%0.81-1.23) tespit edilmiştir. SKM, KMT ve NYD değerleri en yüksek baklagil ailesinden elde edilmiştir.

Tablo 2. Beyazsu yaylasından elde edilen ailelerin biçim zamanına göre elde edilen yem kalite değerleri.

Table 2. Forage quality values of the families obtained from Beyazsu plateau according to harvest time.

Ham Protein Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.00	Baklagil	19.04 b	20.69 a	20.78 a	15.21 efg	18.93 a
Biçim	20.69**	Buğdaygil	16.80 de	14.84 fgh	17.19 cd	13.47 h	15.57 b
Famila	41.82**	Diğer Familyalar	18.67 bc	16.01 def	14.26 gh	15.73 defg	16.16 b
Biçim * Famila	11.15**	Ortalama	18.17 a	17.18 b	17.41 ab	14.80 c	
ADF Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	4.83*	Baklagil	25.45	29.57	26.05	28.68	27.43 c
Biçim	6.55**	Buğdaygil	32.59	33.71	33.48	33.98	33.44 a
Famila	88.31**	Diğer Familyalar	27.80	29.67	29.30	27.90	28.66 b
Biçim * Famila	2.50	Ortalama	28.61 c	30.98 a	29.61 bc	30.18 ab	
NDF Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	1.24	Baklagil	42.19 gh	46.57 ef	41.41 h	53.00 cd	45.79 c
Biçim	32.79**	Buğdaygil	54.66 c	58.31 b	58.90 b	63.50 a	58.84 a
Famila	131.01**	Diğer Familyalar	45.75 fg	50.03 de	43.74 fgh	52.30 de	47.95 b
Biçim * Famila	2.57*	Ortalama	47.53 c	51.63 b	48.01 c	56.26 a	
ADP Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.18	Baklagil	0.77 ef	1.05 bc	0.99 cd	1.09 b	0.97 b
Biçim	125.09**	Buğdaygil	0.76 ef	0.74 f	0.96 d	1.08 b	0.88 c
Famila	32.02**	Diğer Familyalar	0.81 e	0.94 d	1.07 b	1.23 a	1.01 a
Biçim * Famila	11.49**	Ortalama	0.78 d	0.91 c	1.01 b	1.13 a	
SKM Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	4.83*	Baklagil	69.07	65.86	68.60	66.55	67.52 a
Biçim	6.55*	Buğdaygil	63.51	62.63	62.81	62.42	62.85 c
Famila	88.31*	Diğer Familyalar	67.24	65.78	66.07	67.16	66.56 b
Biçim * Famila	2.50	Ortalama	66.61 a	64.76 c	65.83 ab	65.38 bc	
KMT Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.44	Baklagil	2.84 ab	2.57 d	2.90 a	2.26 ef	2.64 a
Biçim	46.31**	Buğdaygil	2.19 fg	2.06 gh	2.03 hi	1.89 i	2.04 c
Famila	161.85**	Diğer Familyalar	2.62 cd	2.39 e	2.74 bc	2.29 ef	2.51 b
Biçim * Famila	5.70**	Ortalama	2.55 a	2.34 b	2.56 a	2.15 c	
NYD Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Famila/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	1.17	Baklagil	152.31 a	131.56 b	154.36 a	116.86 cd	138.77 a
Biçim	38.42**	Buğdaygil	108.08 de	100.25 ef	99.27 ef	91.99 f	99.89 c
Famila	175.00**	Diğer Familyalar	136.74 b	122.33 c	140.54 b	119.74 c	129.84 b
Biçim * Famila	5.56**	Ortalama	132.38 a	118.05 b	131.39 a	109.53 c	

Fosfor Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Familiya/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.17	Baklagil	0.35 a	0.34 a	0.35 a	0.25 b	0.32 a
Biçim	32.76**	Buğdaygil	0.33 a	0.33 a	0.33 a	0.18 c	0.29 b
Familiya	6.91**	Diğer Familyalar	0.35 a	0.28 b	0.26 b	0.24 b	0.28 b
Biçim* Familiya	4.12**	Ortalama	0.34 a	0.32 ab	0.31 b	0.22 c	
Potasyum Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Familiya/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	4.14*	Baklagil	1.92 a	1.52 d	1.11 f	1.05 f	1.41 a
Biçim	430.49**	Buğdaygil	1.89 ab	1.74 c	1.38 e	0.61 h	1.40 a
Familiya	17.47**	Diğer Familyalar	1.86 abc	1.79 bc	0.74 g	0.58 h	1.24 b
Biçim* Familiya	27.25**	Ortalama	1.89 a	1.68 b	1.07 c	0.74 d	
Kalsiyum Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Familiya/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.86	Baklagil	1.69 de	1.68 de	2.06 bc	2.01 c	1.86 b
Biçim	93.34**	Buğdaygil	1.32 g	0.99 h	1.24 g	1.56 f	1.27 c
Familiya	336.04**	Diğer Familyalar	1.60 ef	1.77 d	2.14 ab	2.25 a	1.94 a
Biçim* Familiya	14.36**	Ortalama	1.53 c	1.48 c	1.81 b	1.94 a	
Magnezyum Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Familiya/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.91	Baklagil	0.35 b	0.24 c	0.37 b	0.47 a	0.35 b
Biçim	37.68**	Buğdaygil	0.33 b	0.23 c	0.33 b	0.47 a	0.34 b
Familiya	17.24**	Diğer Familyalar	0.33 b	0.39 b	0.50 a	0.52 a	0.43 a
Biçim* Familiya	3.75*	Ortalama	0.33 c	0.28 d	0.40 b	0.48 a	
Ca/P Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Familiya/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	0.10	Baklagil	4.84 bcd	4.94 bcd	5.90 bc	8.14 a	5.95 b
Biçim	44.98**	Buğdaygil	4.01 de	3.00 e	3.76 de	8.99 a	4.94 c
Familiya	18.48**	Diğer Familyalar	4.57 cd	6.34 b	8.28 a	9.45 a	7.16 a
Biçim* Familiya	4.50**	Ortalama	4.47 c	4.76 c	5.98 b	8.86 a	
K/(Ca+Mg) Oranı (%)							
Varyasyon Kaynakları	F Oranı	Familiya/Biçim	1. Biçim	2. Biçim	3. Biçim	4. Biçim	Ortalama
Tekerrür	2.57	Baklagil	0.94 c	0.79 d	0.45 e	0.42 e	0.65 b
Biçim	268.61**	Buğdaygil	1.14 b	1.43 a	0.88 cd	0.30 f	0.94 a
Familiya	107.50**	Diğer Familyalar	0.96 c	0.82 d	0.28 f	0.20 f	0.57 c
Biçim* Familiya	23.53**	Ortalama	1.01 a	1.01 a	0.54 b	0.31 c	

*:P<0.05, **:P<0.01

P ve K/(Ca+Mg) oranları biçim, familiya ve biçim*familiya etkileşiminden önemli ölçüde etkilenmiştir (P<0.01, Mg için P<0.05). Fosfor oranları %0.18-0.35 arasında değişirken, baklagiller, buğdaygiller ve diğer familiyalarda genellikle 1., 2. ve 3. biçimlerde yüksek, 4. biçimde düşüktür. Potasyum oranları %0.58-1.92 aralığında olup, tüm familiyalarda 1. biçimde yüksek, 4. biçimde düşüktür. Kalsiyum oranları %0.99-2.25 arasında değişmekte, familiyalar göre farklı biçimlerde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Magnezyum oranları %0.23-0.52 aralığında olup, genellikle 4. biçimde en yüksek değerdedir. Ca/P oranları %3.00-9.45 arasında değişirken, K/(Ca+Mg) oranları %0.20-1.43 arasında farklı familiya ve biçimlerde değişkenlik göstermektedir.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalara bakıldığında; Karadeniz Bölgesi'nde Kılıç (2018) tarafından yapılan bir araştırmada ise azotlu gübre uygulamasının buğdaygil miktarını artırdığı ve 827.3 kg/da kuru ot verimi, %16.6 HP, 112.9 NYD ve %61.0 SKM oranı elde edildiği belirtilmiştir. Bu durum, uygun gübreleme stratejileriyle ot üretimi ve kalitesinde önemli artışlar sağlanabileceğini göstermektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan çalışmalarda ise farklı bitki türlerinin besin değerleri incelenmiştir. Başbağ ve ark. (2019), *Astragalus hamosus* türünün ortalama %22.1 HP, %20.6 ADF, %34.78 NDF, %72.9 SKM ve 199 NYD değerlerine sahip olduğunu, ancak Ca/P oranının yüksek olduğunu tespit etmiştir. Tarhan ve Çağan (2020) tarafından Bingöl ili Ormanardı köyü merasından otlatma mevsimi boyunca elde edilen otun verim ve kalitesinin yöneylere bağlı olarak aylık değişimi ile Bingöl ilinde otlatma mevsimi başlangıcını tespit etmek amacıyla 2018

yılında çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda; Bingöl ilinde otlatma mevsiminin Mayıs ayı ile birlikte başlaması gerektiği, en iyi verim ve kalite sonuçlarının Mayıs ve Haziran aylarından elde edildiği, bu aylardan sonra hem verim hem de kalite açısından düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Temizyüz ve Başbağ (2024) tarafından yine Güneydoğu Anadolu'daki *Euphorbia* genotiplerinde yapılan çalışmada ise geniş bir varyasyon gözlemlenmiş, HP %11.78-22.51, ADF %17.18-31.73, NDF %22.80-42.22 aralıklarında bulunmuştur. Yeşilova ve Başbağ (2024) ise aynı bölgedeki *Trigonella* türlerinde %18.31-22.45 HP, %14.09-24.09 ADF ve %30.33-37.18 NDF değerleri saptamıştır. Bingöl'deki mera alanlarında Tutar ve Kökten (2019) tarafından yapılan çalışmada ise buğdaygil ağırlıklı (%67.5) bir kompozisyon belirlenmiş ve kuru ot verimi 23.2-129.3 kg/da, HP %9.9-12.9, ADF %34.8-37.4 ve NDF %52.5-62.7 aralıklarında bulunmuştur. Buna yakın ve benzer sonuçlar,

Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Handüzü Yaylası merasında yapılan bir araştırmada (Çatal ve Bakoğlu, 2025a), otların %87.84 kuru madde, %11.43 ham protein, %40.5 ADF, %74.23 NDF, %57.35 SKM ve 71.87 NYD içerdiği belirlenmiştir. Mineral madde içeriği ise P %0.25, K %1.37, Ca %0.76 ve Mg %0.23 olarak tespit edilmiş, Ca/P oranı 3.04 ve K/(Ca+Mg) oranı 1.38 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, meranın hayvan beslenmesi açısından potansiyelini gösterirken, yüksek lif oranlarına da dikkat çekmektedir. Erzurum'un İspir ilçesindeki Yedigöller merasında yapılan bir diğer çalışmada (Çatal, 2025), benzer şekilde yüksek lif oranları (%44.51 ADF, %64.16 NDF) ve orta düzeyde ham protein (%12.77) tespit edilmiştir. SKM %54.23 ve NYD 78.62 olarak

hesaplanırken, mineral madde içerikleri P %0.26, K %0.67, Ca %1.56 ve Mg %0.41 olarak belirlenmiş, Ca/P oranı 6.00 ve K/(Ca+Mg) oranı 0.34 olarak bulunmuştur. Aynı bölgedeki Çayırözü meralarında Bakoğlu ve Çatal (2025) tarafından yapılan araştırmada da benzer sonuçlar elde edilmiş, ortalama %11.51 ham protein, %47.84 ADF ve %65.36 NDF belirlenmiştir. SKM %51.63 ve NYD 73.49 olarak hesaplanırken, Ca ve K düzeylerinin P ve Mg'den yüksek olduğu, Ca/P oranının 6.83 ve K/(Ca+Mg) oranının 0.67 olduğu görülmüştür. Ulutaş meralarında yine Çatal ve Bakoğlu (2025b) tarafından yapılan çalışmada ise %11.23 ham protein, %44.09 ADF, %64.30 NDF, %54.55 SKM ve 78.92 NYD tespit edilmiş, mineral madde içerikleri P %0.30, K %1.28, Ca %1.49 ve Mg %0.49 olarak belirlenmiş, Ca/P oranı 4.97 ve K/(Ca+Mg) oranı 0.65 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmalar, Doğu Karadeniz ve Erzurum yörelerindeki meraların genellikle orta düzeyde bir besin değerine sahip olduğunu, ancak lif içeriklerinin yüksek olmasının sindirilebilirliği etkileyebileceğini göstermektedir. Mineral madde dengesi genellikle uygun olmakla birlikte, Ca/P oranlarına dikkat edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, farklı bölgelerdeki mera vejetasyonunun besin değeri ve mineral madde içeriği tür çeşitliliği, iklim koşulları ve yönetim uygulamaları gibi faktörlere bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Özellikle lif oranlarının yüksekliği bazı mera alanlarında hayvan beslemesi açısından sınırlayıcı bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Ancak, uygun gübreleme ve yönetim stratejileriyle mera kalitesinin artırılabilirliği görülmektedir. Bölgesel farklılıkların ve tür özelindeki besin değerlerinin belirlenmesi, hayvan besleme planlaması ve mera yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Gelecek çalışmaların, farklı mevsimlerdeki değişimleri ve mera ıslah yöntemlerinin etkilerini daha detaylı incelemesi, sürdürülebilir mera yönetimi için değerli bilgiler sunacaktır.

SONUÇ

Bu araştırma, Artvin'in Borçka ilçesi Beyazsu Yaylası'nda 2022 yılı Temmuz ve Ekim ayları arasında yürütülerek, yaş ve kuru ot verimleri ile farklı familyalara ait otların (baklagiller, buğdaygiller ve diğer) besin madde içeriklerini zamansal değişimleri dikkate alınarak değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen 9 farklı konumda gerçekleştirilen dört biçim sonucunda elde edilen veriler, yayla ekosistemindeki otların potansiyel verimliliği ve besin kalitesi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Elde edilen bulgulara göre, farklı biçim zamanlarında ve familyalarda önemli verim ve besin

madde içeriği farklılıkları gözlemlenmiştir. Özellikle kuru ot verimi açısından, biçim zamanlarına bağlı olarak belirgin değişimler tespit edilmiş olup, bu durum otlatma yönetim stratejileri açısından dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Besin madde içerikleri analizleri, otların ham protein, ADF, NDF, ADP, P, K, Ca ve Mg oranlarının zamansal olarak nasıl değiştiğini göstermiştir. Özellikle ham protein oranları, hayvan beslenmesi açısından kritik bir parametre olup, biçim zamanına ve bitki familyasına göre önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT) ve nisbi yem değeri (NYD) gibi kalite parametreleri de benzer şekilde değişkenlik göstermiş ve bu durum, otların farklı dönemlerdeki besleyici değerini etkilemektedir. Ayrıca belirlenen Ca/P ve K/(Ca+Mg) oranları, hayvan sağlığı açısından önemli olan mineral dengesi hakkında bilgi sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma Beyazsu Yaylası'nın verim ve besin kalitesinin mevsimsel dinamiklerini ve familyalar arası farklılıklarını ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, yayla otlaklarının sürdürülebilir yönetimi ve hayvan besleme stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir temel oluşturmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, farklı otlatma sistemlerinin ve yönetim uygulamalarının yayla otlaklarının verimliliğinin uzun dönemli etkilerini incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2023).** T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Artvin İl Müdürlüğü Kayıtları.
- Bakoğlu, A., & Çatal, M.İ. (2025).** Çayırözü meralarının (İspir/Erzurum) besin değeri ve mineral kompozisyonu. *1. International Agriculture, Animal Husbandry And Forestry Sciences Congress*, 21 - 23 Şubat 2025, Ankara, Türkiye, cilt.1, 73-82.
- Başbağ, M., Çağan, E., Sayar, M.S., & Fırat, M. (2019).** Güneydoğu Anadolu Bölgesinin farklı lokasyonlarından toplanan boynuzlu geven (*Astragalus hamosus* L.) otunun bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5(2), 346-354. DOI: 10.24180/ijaws.594960
- Çatal, M.İ., & Bakoğlu, A. (2025a).** Handüzü yaylası merasının (Rize) besin değerinin belirlenmesi. *1st International Black Sea Agriculture and Animal Husbandry Congress*, 7-8 Ocak 2025, Samsun, Türkiye, 152-160.
- Çatal, M.İ. (2025).** Investigation of nutrient value and quality characteristics of pasture in Yedigöller

- region (İspir/Erzurum). *9th International Cukurova Agriculture and Veterinary Congress*, 14-15 Şubat 2025, Adana, Türkiye, 1, 450-459.
- Çatal, M.İ., & Bakoğlu, A. (2025b).** Evaluation of the forage quality and nutritional value of the pasture area of Ulutaş neighborhood of İspir district in Erzurum province. *International Congress on Sustainable Agriculture-II*, 4-5 Mart 2025, Iğdır, Türkiye, 1, 439-448.
- Çınar, S., Hatipoğlu, R., Avcı, M., İnal, İ., Yücel, C., & Avağ, A. (2014).** Hatay ili Kırıkhan ilçesi taban meralarının vejetasyon yapısı üzerine bir araştırma. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **31**(2), 52-60. DOI: [10.13002/jafag678](https://doi.org/10.13002/jafag678)
- Çınar, S., Alay, F., İspirli, K., Uzun, F., Aydın, İ., & Çankaya N. (2016).** Uzun süreli serbest otlatmanın doğal meralar üzerine etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **33**(1), 116-124. DOI: [10.13002/jafag929](https://doi.org/10.13002/jafag929)
- Holechek, J.L., Pieper, R.D., & Herbel, C.H. (2011).** *Range management principles and practices*. Sixth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 444 s.
- Kaya, Ş. (2008).** Kaba yemlerin değerlendirilmesinde göreceli yem değeri ve göreceli kaba yem kalite indeksi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, **1**(1), 59-64.
- Kılıç, S. (2018).** *Trabzon ili Düzköy ilçesi Beypinarı merasında farklı gübre uygulamalarının meranın verim, kalite ve botanik kompozisyonuna etkileri üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Kirilov, A. (2001).** *Lucerne quality and possibilities for its estimation*, In : I. Delgado and J. Lloveras (Eds.), *Quality in lucerne and medics for animal production*. Zaragoza, CIHEAM, 231-234, <http://om.ciheam.org/om/pdf/a45/01600089.pdf> (Erişim tarihi: 23.10.2016).
- Kökten, K., & Tanrıverdi, H. (2020).** Muş Merkez Ait Kıybaşı Köyü Merasının Verim Ve Kalitesinin Belirlenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, **7**(9), 259-265. DOI: [10.38065/euroasiaorg.46](https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.46)
- Lund, H.G. (2007).** Accounting for the world's rangelands. *Rangelands*, **29**(1), 3-10. DOI: [10.2111/1551-501X\(2007\)29\[3:AFTWR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-501X(2007)29[3:AFTWR]2.0.CO;2)
- Oddy, V.H., Robards, G.E. & Low, S.G. (1983).** *Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fiber nitrogen content of a feed*. In: *Feed Information and Animal Production*. (ed) Robards, G.E., Packham, R.G., Common wealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, UK, 395-398.
- Sheaffer, C.C., Peterson, M.A., Mccalin, M., Volene, J.J., Cherney, J.H., Johnson, K.D., Woodward, W.T. & Viands DR. (1995).** Acid detergent fiber, neutral detergent fiber concentration and relative feed value. *North American Alfalfa Improvement Conference*, Minneapolis.
- Snyman, H.A. (2005).** Rangeland degradation in a semi-arid South Africa. I: influence on seasonal root distribution, root/shoot ratios, and water-use efficiency. *Journal of Arid Environments*, **60**, 457-481. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2004.06.006](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.06.006)
- Tarhan, H., & Çağan, E. (2020).** Bingöl ilinde mera verim ve kalitesinin yöneylere bağlı olarak aylık değişimi ve otlatmaya başlama zamanının belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **8**(1), 110-122. DOI: [10.29130/dubited.603751](https://doi.org/10.29130/dubited.603751)
- Taşdemir, V., & Kökten, K. (2015).** Elazığ İli Karakoçan İlçesi Bahçecik Köyü Merasının Verim ve Kalite Özelliklerinin Saptanması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, **2**(2), 201-206.
- Temizyüz, A., & Başbağ, M. (2024).** Güneydoğu Anadolu Bölgesi çayır-mera ve doğal vejetasyonlarında yer alan zehirli bitkilerden bazı *Euphorbia* genotiplerinde ot kalite özelliklerinin belirlenmesi. *MAS Journal of Applied Sciences*, **9**(1), 141-151. DOI: [10.5281/zenodo.10820500](https://doi.org/10.5281/zenodo.10820500)
- Tutar, H., & Kökten, K. (2019).** Mera vejetasyon özelliklerinin farklı yöneylere göre değişimi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, **6**(3), 312-318. DOI: [10.19159/tutad.614351](https://doi.org/10.19159/tutad.614351)
- Yeşilova, E.Ç., & Başbağ, M. (2024).** Güneydoğu Anadolu Bölgesi çayır-mera ve doğal vejetasyonlarında yer alan bazı *Trigonella* türlerinde ot kalite özelliklerinin belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, **8**(1), 15-24. DOI: [10.5281/zenodo.10749052](https://doi.org/10.5281/zenodo.10749052)



Karayolu Ulaşımında Bitkisel Yeşil Dokunun Hava Kalitesine Etkisi

Sezer ÜNAL^{1*} Necla TEKTAŞ² Mehmet TEKTAŞ³

¹Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Bandırma, Türkiye

²Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yöneylem Anabilim Dalı, Bandırma,

³Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı Başkanı, Bandırma,

Geliş Tarihi: 11.02.2025

Kabul Tarihi: 12.06.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Ünal, S., Tektaş, N., & Tektaş, M. (2025). Karayolu Ulaşımında Bitkisel Yeşil Dokunun Hava Kalitesine Etkisi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 381-391. <https://doi.org/10.35229/jaes.1637057>

How to cite: Ünal, S., Tektaş, N., & Tektaş, M. (2025). The Effect of Vegetal Green Texture on Air Quality in Highway Transportation. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 381-391. <https://doi.org/10.35229/jaes.1637057>

* <https://orcid.org/0000-0003-1567-852X>
 <https://orcid.org/0000-0002-8190-4532>
 <https://orcid.org/0000-0001-9564-8069>

***Sorumlu yazarın:**

Sezer ÜNAL
Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi Yapı İşleri
ve Teknik Daire Başkanlığı / Yeni Mahalle
Şehit Astsubay Mustafa Soner Varlık Caddesi
No:7, 10250 Bandırma/Balıkesir, Türkiye.
✉: sunal@bandirma.edu.tr

Öz: Bandırma kent merkezinde karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların çevresel etkileri incelenmiş ve bu etkileri azaltmada yeşil altyapı uygulamalarının rolü araştırılmıştır. Artan nüfus ve motorlu araç sayısı, kent içinde trafik yoğunluğunu yükselterek hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Çalışmada yerel emisyon kaynakları analiz edilmiş, Bandırma Hava İzleme İstasyonu verilerine göre belirli dönemlerde kirlenici konsantrasyonlarının ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) standartlarını aştığı tespit edilmiştir. Mevcut ulaşım altyapısındaki yeşil doku eksiklikleri, özellikle liman bölgesi ve ana arterlerde, emisyonların birikimine neden olmaktadır. Bu kapsamda yoğun trafik alanlarında yol kenarı bitkilendirme ve yeşil bariyer uygulamalarının hava kirliliğini azaltmadaki etkisi değerlendirilmiştir. EPA emisyon verileri ve (European Monitoring and Evaluation Programme) EMEP/ (Coordination of information on the environment) CORINAIR standartları kullanılarak Bandırma için yaklaşık trafik emisyon envanteri oluşturulmuştur. Ayrıca çok kriterli karar verme yöntemleri (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) TOPSIS ve (Evaluation Based on Distance from Average Solution) EDAS ile Bandırma şartlarına en uygun ağaç türü belirlenmiştir. Değerlendirilen 10 farklı ağaç türü arasında Cedrus Atlantica (Atlas sediri), yüksek kirlenici tutma kapasitesi, düşük bakım ihtiyacı ve uzun ömürlülüğü sayesinde en başarılı tür olarak saptanmıştır. Sonuçlar, yeşil altyapı uygulamalarının Bandırma'daki trafik kaynaklı emisyonları azaltmada kritik önem taşıdığını göstermektedir. Bu doğrultuda, yerel yönetimlere doğru bitki türü seçimi ve stratejik bitkilendirme politikaları benimsemeleri önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Trafik emisyonları; hava kirliliği; yeşil altyapı; çok kriterli karar verme.

The Effect of Vegetal Green Texture on Air Quality in Highway Transportation [^{*}]

Abstract: This study examines the environmental impacts of road transport emissions in Bandırma's city center and explores the role of green infrastructure in mitigating these impacts. The increase in population and number of motor vehicles is intensifying urban traffic and deteriorating air quality. Local emission sources were analyzed, and air quality monitoring data indicate that pollutant levels exceed EPA standards during certain periods. Insufficient green cover in the current transport infrastructure, especially around the port and main arteries, contributes to the accumulation of emissions. In this context, the effectiveness of roadside planting and green barrier applications in high-traffic areas for reducing air pollution was evaluated. Using EPA emission data and EMEP/CORINAIR standards, an approximate traffic emission inventory for Bandırma was calculated. In addition, multi-criteria decision-making methods (TOPSIS and EDAS) were applied to select the most suitable tree species for Bandırma's conditions. Among 10 different species evaluated, Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) emerged as the top-ranked species due to its high pollutant adsorption capacity, low maintenance needs, and longevity. The results show that green infrastructure is critically important for reducing traffic-related emissions in Bandırma. Accordingly, local authorities are recommended to adopt correct plant species selection and strategic roadside planting to improve urban air quality.

Keywords: Traffic emissions, air pollution, green infrastructure, multi-criteria decision making.

GİRİŞ

Modern kentlerde trafik kaynaklı emisyonlar, hava kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olarak öne

çıkılmaktadır. Motorlu taşıtlardan atmosfere salınan karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partikül maddeler (PM) gibi kirlenitçiler, çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler

oluşturmaktadır (Zhang & Wang, 2023; Bourne ve ark., 2018). Söz konusu kirleticiler, iklim değişikliği, asit yağmurları ve ozon tabakasının incilmesi gibi çevresel sorunlara yol açarken; solunum yolu hastalıkları, kalp-damar rahatsızlıkları ve kanser gibi ciddi sağlık problemlerini tetiklemektedir (Fuglestedt ve ark., 2008; Sausen ve ark., 2010). Avrupa Çevre Ajansı'na göre ulaşım sektörü, Avrupa Birliği'nde toplam sera gazı emisyonlarının %23'ünü oluşturmaktadır (Emberger, 2017). Önlem alınmadığı takdirde, karayolu taşımacılığı kaynaklı emisyonların önümüzdeki on yılda %41 oranında artacağı öngörülmektedir (Fan ve ark., 2018).

Türkiye'de de özellikle büyük kentlerde trafik kaynaklı hava kirliliği ciddi boyutlara ulaşmıştır. Örneğin, orta büyüklükte bir kent olan Malatya'da karayolu trafiği nedeniyle yıllık yaklaşık 768 ton CO, 154 ton NO_x, 14 ton PM ve 122 ton Uçucu Organik Bileşik (VOC) atmosfere salınmaktadır (Behçet & Yakın, 2020). Bu veriler, motorlu taşıtların yarattığı kirlilik yükünün büyük boyutlara ulaştığını göstermektedir. Son yıllarda Türkiye'de trafik kaynaklı emisyonları azaltmaya yönelik çeşitli projeler hayata geçirilmiş (sürdürülebilir ulaşım projeleri, toplu taşımanın teşviki vb.), ancak özellikle kent merkezlerinde hava kalitesinin iyileştirilmesi için ilave çözümlere ihtiyaç duyulmaya devam edilmektedir.

Yeşil altyapı, kentlerde hava kirliliği sorununa yönelik çevre dostu çözümler arasında önemli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Yeşil altyapı (Green Infrastructure), doğal ve yarı-doğal alanların; kentte ekolojik, sosyal ve ekonomik faydalar sağlayacak şekilde planlanması, tasarımı ve yönetilmesi sürecidir. Bu kavram, yalnızca bitkisel peyzajı değil, aynı zamanda ekosistem hizmetlerini destekleyen bütünsel yeşil alan ağlarını da kapsar. Yeşil altyapı, kentlerde biyolojik çeşitliliği korurken, su yönetimi, hava kalitesinin iyileştirilmesi, iklim değişikliğiyle mücadele ve insan sağlığı gibi çok boyutlu katkılar sağlar (Benedict & McMahon, 2006). Yeşil altyapı; parklar, kent ormanları, çatı bahçeleri, yeşil duvarlar, yeşil yollar, su yolları (mavi altyapı ile bütünsel), kent tarımı alanları gibi öğeleri içerir (European Environment Agency [EEA], 2011). Bu sistemler hem doğal süreçleri destekler hem de insan yaşam kalitesini artırır. Bitki örtüsü, zararlı gazları ve partikülleri tutma kapasitesi sayesinde şehir içi hava kalitesini iyileştirme potansiyeli sunmaktadır (Nowak ve ark., 2000; Baldauf, 2017). Yapılan çalışmalar, yol kenarlarında bulunan ağaç ve bitkilerin hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını azaltabileceğini ortaya koymuştur (Baldauf, 2008; Gallagher ve ark., 2015; Janhäll, 2015). Özellikle yaprak yüzeylerinin kirletici partikülleri tutma kapasitesi, çevredeki PM seviyelerinin düşürülmesinde önemli katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, şehirlerde yol ağaçlandırması hava kalitesini iyileştirme, gürültüyü azaltma ve estetik değer katma gibi fonksiyonlarla kritik bir

rol oynamaktadır (Küçük, 2010; Tong ve ark., 2015). Yoğun trafik alanlarında, boylu ve yoğun yapraklı ağaç türleriyle oluşturulan yeşil bariyerlerin hava kirliliğini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir (Ürgenç, 1998; Janhäll, 2015).

Bandırma kenti, Balıkesir iline bağlı olup Marmara Denizi kıyısında stratejik bir konuma sahip sanayi ve liman merkezi niteliğindedir. 2023 itibarıyla kentin nüfusu 166.836'ya ulaşmıştır (Nüfusu.com, 2024). Artan nüfusla birlikte trafiğe kayıtlı araç sayısı 81.084'e yükselmiştir (Sondakika.com, 2024). Çanakkale-Bursa devlet karayolunun Bandırma kent merkezinden geçmesi, transit trafik yoğunluğuyla birlikte şehir içi emisyonların artışına neden olmaktadır. Özellikle liman faaliyetleri kaynaklı ağır vasıta trafiği, hava kirliliğini ciddi boyutlara oluşturmaktadır (Köroğlu & Karabulut, 2018). Tektaş ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, Bandırma'daki trafik yoğunluğunun hava ve gürültü kirliliği ile otopark eksikliği ve uzun seyahat süreleri gibi sorunlara neden olduğu belirtilmiştir. Mevcut yeşil altyapının yetersizliği, özellikle liman çevresi ve ana arterlerde trafik kaynaklı emisyonların yayılımının kontrol altına alınmasını güçleştirmektedir. Yol kenarı ağaçlandırmalarının artırılması ve yeşil bariyerlerin oluşturulması hem trafik akışının düzenlenmesi hem de hava kalitesinin iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Altınçekiç & Altınçekiç, 1996; Gedikli, 2022). Ayrıca, Bandırma'da hâkim rüzgârların yıllık ortalama 17,45 km/s hızında esmesi, kirleticilerin şehir geneline yayılımını hızlandırarak hava kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Weatherspark, 2024). Bu doğrultuda, Bandırma'da yeşil altyapı planlamalarının iyileştirilmesi ve trafik kaynaklı emisyonların azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi acil bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma, Bandırma kent merkezinde trafik kaynaklı emisyonların dağılımını analiz etmekte ve yeşil altyapının bu emisyonları azaltmadaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bandırma gibi sanayi ve liman faaliyetlerinin yoğun olduğu orta ölçekli kentlerde, yeşil altyapı planlamalarının yerel iklim, ulaşım yapısı ve araç filosu dikkate alınarak gerçekleştirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda çalışmanın amacı, (i) Bandırma'daki mevcut trafik kaynaklı emisyon yükünü nicel olarak belirlemek, (ii) mevcut yeşil dokunun etkisini analiz etmek ve (iii) çok kriterli karar verme yöntemleri ile en uygun yeşil altyapı unsurlarını önermektedir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında Bandırma kent merkezi (Balıkesir, Türkiye) araştırma alanı olarak seçilmiştir. Bandırma, artan nüfusu ve yoğun karayolu trafiği ile dikkat çeken bir ilçe merkezidir. Özellikle liman ve ana arterler etrafındaki yüksek araç yoğunluğu, kentsel hava kalitesini

olumsuz etkileyen bir faktör olduğu için, çalışma alanı olarak Bandırma'nın seçilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 1. Bandırma kent merkezi (paintmaps.com, 2025).

Figure 1. Bandırma city center (paintmaps.com, 2025).

Trafik Verilerinin Toplanması: Çalışmada kullanılan trafik verileri, Bandırma Belediyesi trafik birimi kayıtları, yerinde gerçekleştirilen manuel araç sayımları ve karayolu üzerindeki trafik sensörlerinden elde edilmiştir. Veri güvenilirliğini sağlamak amacıyla araç sayımları, sabah ve akşam zirve saatlerinde farklı noktalarda periyodik olarak gerçekleştirilmiştir. Sayım verileri doğrultusunda araçlar; binek otomobil, kamyonet ve ağır vasıta gibi kategorilere ayrılarak sınıflandırılmış ve her bir araç türünün trafikteki ortalama yüzdesi hesaplanmıştır. Bandırma'ya özgü filo kompozisyonu, bölgesel emisyon hesaplamalarının temel girdisini oluşturmuştur.

Tablo 1. Araç türleri ve ortalama emisyon faktörleri (www.eea.europa.eu, 2023)

Table 1. Vehicle types and average emission factors (www.eea.europa.eu, 2023)

Araç Türü	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)	PM _{2.5} (g/km)
Benzinli Binek Araç	160	0,3	0,02
Dizel Binek Araç	180	0,4	0,03
Hafif Ticari Araç	250	1,8	0,1
Ağır Ticari Araç	320	5,5	0,25
Otobüs	400	8	0,3

Emisyon Hesaplama Yaklaşımı: Emisyon hesaplamalarında, Avrupa'da atmosferik emisyonların izlenmesi ve raporlanmasına yönelik standartlar sunan EMEP/CORINAIR metodolojisi ile EPA verileri temel alınmıştır. EMEP/CORINAIR, özellikle karayolu taşımacılığından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasına yönelik detaylı faktörler içermekte olup, tahmin sürecinde araç türü, model yılı, hızı, yakıt türü ve motor hacmi gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada, Bandırma'daki araç filosuna özgü ortalama emisyon faktörleri EMEP/CORINAIR rehberinden alınmış olup, temel parametreler Tablo 1'de yer almaktadır. Örneğin, dizel

ağır taşıtlar için CO₂ emisyon faktörü ortalama 200–350 g/km, NO_x emisyon faktörü 3–7 g/km, PM₁₀ emisyon faktörü ise 0,15–0,30 g/km aralığında hesaplanmıştır. Benzinli otomobiller için bu değerler sırasıyla CO₂: 140–180 g/km, NO_x: 0,2–0,5 g/km ve PM₁₀: 0,01–0,03 g/km olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda, Bandırma'daki toplam araç sayısının gün içinde kat ettiği mesafe göz önüne alınmış ve tahmini günlük toplam emisyon yükü belirlenmiştir. Varsayımsal olarak, binek araçların günlük ortalama yaklaşık 15 km, ağır vasıtaların ise yaklaşık 40 km kent içinde yol aldığı varsayılmıştır. Bu varsayımlara göre Bandırma'da günlük CO₂ emisyonunun 150–200 ton, NO_x emisyonunun 4–6 ton ve PM₁₀ emisyonunun 0,2–0,4 ton aralığında olduğu tahminen belirlenmiştir.

Hava Kalitesi Verilerinin Toplanması: Elde edilen tahmini emisyon değerleri, Bandırma'daki mevcut hava kalitesi ölçüm verileriyle karşılaştırılmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait Bandırma Hava Kalitesi İzleme İstasyonu verileri analiz edilerek, 2024 yılına ait saatlik ve günlük SO₂, PM₁₀ ve NO₂ ölçümleri incelenmiştir (Tablo 3). Analizler sonucunda, bazı zaman dilimlerinde ulusal sınır değerlerin ve EPA standartlarının aşıldığı tespit edilmiştir. 2024 yılına ait PM₁₀, SO₂ ve AQI (Air Quality Index/ Hava Kalitesi İndeksi) değerleri incelendiğinde, Bandırma kent merkezinde yıl boyunca hava kalitesinin mevsimsel değişim gösterdiği ancak çoğu zaman ulusal ve uluslararası sınır değerlerin üzerinde seyrettiği tespit edilmiştir. Özellikle Ocak, Mart, Mayıs, Temmuz, Eylül ve Kasım aylarında PM₁₀ konsantrasyonlarının sırasıyla 110, 120, 130, 140, 150 ve 160 µg/m³ seviyelerine ulaştığı; buna paralel olarak SO₂ değerlerinin de 80 ila 130 µg/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Bu yüksek kirletici konsantrasyonları, AQI değerlerinin de 150'nin üzerine çıkmasına neden olmuş ve bu dönemlerde hava kalitesi "sağlıksız" kategorisine girmiştir. Özellikle 5 Kasım ve 20 Aralık tarihlerinde ölçülen 160–170 µg/m³ PM₁₀, 130–140 µg/m³ SO₂ ve 200–210 AQI değerleri, "kötü" seviyesine ulaşarak halk sağlığı açısından ciddi risk taşımaktadır. AQI değerleri, ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir ancak genel prensipler Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avrupa Çevre Ajansı (EEA) gibi kuruluşlar tarafından belirlenmektedir. Türkiye, AQI hesaplamasında genellikle ABD EPA sistemiyle uyumlu bir yaklaşım kullanmakla birlikte yerel sınır değerleri esas almaktadır.

Tablo 2. Türkiye ve Avrupa Birliği AQI değer aralıkları (sim.csb.gov.tr,2025; eea.europa.eu/tr, 2025)

Table 2. AQI value ranges of Türkiye and the European Union (sim.csb.gov.tr, 2025; eea.europa.eu/tr, 2025)

Kategori	Türkiye AQI	AB / WHO (Rehber)
İyi	0–50 (≤50 µg/m ³)	0–20 µg/m ³
Orta	51–100	21–50 µg/m ³
Hassas	101–150	51–100 µg/m ³
Sağlıksız	151–200	100+ µg/m ³ (yüksek)
Kötü/Tehlikeli	200+	— (uyarı düzeyi)

Bununla birlikte, Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos ve Ekim aylarında ölçülen PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin göreceli olarak daha düşük olduğu, AQI değerlerinin 115–135 aralığında kaldığı ve bu dönemlerde hava kalitesinin “hassas” düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, 22 Şubat’ta AQI değeri 135 olarak ölçülmüş ve bu durum özellikle yaşlılar, çocuklar ve solunum problemi olan bireyler için riskli kabul edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yılın yaklaşık yarısında hava kalitesinin “sağlıksız” düzeyde olduğu ve bu dönemlerin çoğunlukla ilkbahar-sonbahar geçişleri ile kış aylarına denk geldiği söylenebilir. Bu da, meteorolojik faktörlerin (örneğin düşük rüzgâr hızı, inversiyon, nem) ve ısınma ile trafik kaynaklı emisyonların birlikte etkili olduğunu göstermektedir. Yıl boyunca ölçülen bu değerler, Bandırma’da kalıcı bir yeşil altyapı stratejisinin uygulanması gerektiğini ve özellikle kirletici emisyonlarının yüksek seyrettiği dönemlerde hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik önlemlerin önceliklendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Bandırma ilçesi yıllık ortalama ve günlük SO₂, PM₁₀ ve NO₂ değişim değerleri (sim.csb.gov.tr, 2024)

Table 3. Bandırma district annual average and daily SO₂, PM₁₀ and NO₂ change values (sim.csb.gov.tr, 2024)

Yıl	PM ₁₀ Yıllık Ortalama (µg/m ³)	SO ₂ Yıllık Ortalama (µg/m ³)	NO ₂ Yıllık Ortalama (µg/m ³)
2024	40,16	8,77	24,74

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: Trafik kaynaklı emisyonları azaltmada en uygun yeşil altyapı unsurunu (bitki/ ağaç türünü) belirlemek amacıyla çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda iki farklı ÇKKV yöntemi olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) tercih edilmiştir.

TOPSIS yöntemi, alternatiflerin ideal çözüme yakınlığına ve en kötü çözüme uzaklığına göre sıralanmasını sağlayan etkin bir tekniktir. Yeşil altyapı alternatiflerinin belirlenen birden çok kritere göre çok boyutlu değerlendirilmesi gerektiği için, alternatiflerin en iyi ve en

kötü durum senaryolarına olan göreceli mesafelerini hesaplayabilen TOPSIS yöntemi uygun görülmüştür. EDAS yöntemi ise alternatifleri ortalama bir çözüm noktasından olan pozitif ve negatif uzaklıklarına göre değerlendirerek en uygun seçeneği belirlemeye odaklanan yaygın bir karar tekniğidir (Stanujkic et al., 2017). TOPSIS’e kıyasla, hesaplama süreçlerinde uç değerlere karşı daha az duyarlı olup daha dengeli sonuçlar üretebilme avantajı vardır. Bu nedenle, emisyon azaltma potansiyeli, bakım maliyeti ve estetik katkı gibi birbirinden farklı özelliklere sahip kriterler çok yönlü bir şekilde değerlendirildiğinde, EDAS yönteminin de kullanılması uygun görülmüştür. Her iki yöntemin birlikte uygulanması, sonuçların güvenilirliğini artırmakta ve farklı matematiksel yaklaşımların karar verme sürecine etkisini karşılaştırma imkânı sunmaktadır. Böylelikle Bandırma koşulları için en uygun bitki türünün belirlenmesi daha bilimsel ve sistematik bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Karar verme analizinde kullanılan kriterler, ilgili literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu kriterler, kentsel yeşil altyapı elemanlarının trafik kaynaklı emisyonları azaltma performansını çok boyutlu olarak değerlendirebilmek amacıyla şu başlıklardan oluşmaktadır:

- Emisyon azaltma kapasitesi (örneğin, bir ağacın partikül madde (PM) tutma yeteneği),
- Dayanıklılık ve ömür (şehrin iklim koşullarına uyum sağlama ve uzun ömürlülük),
- Bakım maliyeti (sulama ve budama gereksinimleri),
- Estetik değer (kentsel peyzaja katkı sağlama potansiyeli),
- Su tutma kapasitesi (yağmur suyunu depolayarak sel riskini azaltma yeteneği).

Belirlenen bu beş kriter çerçevesinde, Bandırma’nın iklim ve çevre koşullarına uyum sağlayabilecek 10 farklı bitki türü alternatif olarak belirlenmiştir. Bu alternatifler arasında hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı türler (ör. çam, servi, sedir, meşe, akçaağaç vb.) yer almaktadır.

Tablo 4. Seçilen bitkiler ve menşeleri (<https://www.treesandshrubsonline.org/>, 2025)

Table 4. Selected plants and their origins (<https://www.treesandshrubsonline.org/>, 2025)

Tür ve Cins İsimleri	Türkçe Adı	Doğal Yayılış (Menşe)
<i>Cedrus atlantica</i>	Atlas Sediri	Kuzey Afrika – Fas ve Cezayir (Atlas Dağları)
<i>Cupressus arizonica</i>	Mavi Servi	Kuzey Amerika – ABD (Arizona, New Mexico)
<i>Platanus orientalis</i>	Doğu Çınarı	Güneydoğu Avrupa, Batı Asya, Türkiye, İran
<i>Fraxinus excelsior</i>	Dişbudak	Avrupa, Kuzey Asya – Orta ve Batı Avrupa
<i>Pinus nigra</i>	Karaçam	Güney Avrupa, Türkiye, Balkanlar, Batı Asya
<i>Liquidambar orientalis</i>	Sığla Ağacı	Güneybatı Türkiye (Muğla, Fethiye, Köyceğiz yöresi)
<i>Acer saccharinum</i>	Gümüşü Akçaağaç	Kuzey Amerika – ABD ve Kanada
<i>Thuja occidentalis</i>	Batı Mazısı	Kuzey Amerika – Doğu Kanada ve Kuzeydoğu ABD
<i>Castanea sativa</i>	Kestane	Güney Avrupa, Batı Asya – Türkiye dahil
<i>Carpinus betulus</i>	Gürgen	Orta ve Batı Avrupa

Her bir alternatifin belirlenen kriterlere göre performansı, 10 kişilik bir uzman grubunun (peyzaj mimarları, ziraat mühendisleri ve botanikçiler) 1 (çok

düşük) ile 10 (çok yüksek) arasında verdiği puanlarla değerlendirilmiştir. Uzman değerlendirmelerinden elde edilen puanlar ile başlangıç karar matrisi oluşturulmuş ve

bu matrise çok kriterli analiz yöntemleri uygulanmıştır. TOPSIS ve EDAS yöntemlerinin adımları literatürde detaylı bir şekilde tanımlandığı için burada tekrar tüm matematiksel formüller verilmemektedir. Ancak özetle, önce karar matrisi normalizasyonu ve kriter ağırlıkları ile değerlendirme yapılmış, ardından TOPSIS yöntemi ile her bir alternatif için göreceli yakınlık değerleri hesaplanmıştır. Paralel olarak EDAS yöntemi ile her bir alternatifin toplam performans skoru elde edilmiştir. Son olarak, her iki yönteme göre alternatif ağaç türleri en iyi seçenekten en kötüye doğru sıralanmış ve karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu süreç sonucunda Bandırma'daki trafik kaynaklı emisyonların azaltılmasında etkili olması beklenen bitki türü belirlenmiştir.

Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar matrisi, alternatiflerin her bir kriter için değerlendirmesini içerir. Karar matrisi karar verici tarafından oluşturulur ve satırlarda üstünlüklerine göre sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarda ise karar verici tarafından belirlenen ve karar vermede kullanılmak istenilen kriterler yer almaktadır. A matrisi karar verici için başlangıç matrisidir ve aşağıdaki şekilde gibidir:

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Normalize Edilmiş (Standart) Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar matrisi, kriterlerin farklı ölçeklerini normalize etmek için aşağıdaki formülle normalize edilir:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (V):
Normalize edilmiş matris, kriter ağırlıkları ile çarpılır:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (3)$$

Burada; w_j , j-inci kriterin ağırlığıdır.

Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler (A^+ ve A^-):

Pozitif ideal çözüm (A^+):

$$A^+ = \{ \max(v_{ij}) | j \in J_1; \min(v_{ij}) | j \in J_2 \} \quad (4)$$

Negatif ideal çözüm (A^-):

$$A^- = \{ \min(v_{ij}) | j \in J_1; \max(v_{ij}) | j \in J_2 \} \quad (5)$$

Burada; J_1 fayda kriterlerini, J_2 ise maliyet kriterlerini ifade eder.

Alternatiflerin İdeal Çözüme Uzaklıkları (S_i^+ ve S_i^-): Pozitif ideal çözüme uzaklık (S_i^+):

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (6)$$

Negatif ideal çözüme uzaklık (S_i^-):

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (7)$$

Göreceli Yakınlık (C_i^*): Her alternatif için göreceli yakınlık aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (8)$$

C_i^* 0 ile 1 arasında bir değer alır. Değeri 1'e en yakın olan alternatif en iyi seçenektir.

Alternatiflerin Sıralanması: C_i^* değerlerine göre alternatifler sıralanır.

I. **EDAS**, alternatiflerin sıralanması için yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar tekniğidir (Stanujkic ve ark. 2017). Çözüm adımları aşağıda yer almaktadır.

Karar Matrisinin Oluşturulması: EDAS yönteminin ilk adımı eşitlik TOPSİS (3.1)'de görülen başlangıç karar matrisi ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi ile aşağıdaki karar matrisi oluşturulur.

Ortalama Çözümün Hesaplanması: Her kriter için ortalama değer AV_j hesaplanır.

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (9)$$

Pozitif ve Negatif Uzaklıkların Belirlenmesi:
Pozitif uzaklık PDA_{ij} :

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, x_{ij} - AV_j)}{AV_j} \quad (\text{fayda kriteri için}) \quad (10)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, AV_j - x_{ij})}{AV_j} \quad (\text{maliyet kriteri için}) \quad (11)$$

Negatif uzaklık NDA_{ij} :

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, x_{ij} - AV_j)}{AV_j} \quad (\text{fayda kriteri için}) \quad (12)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, AV_j - x_{ij})}{AV_j} \quad (\text{maliyet kriteri için}) \quad (13)$$

Toplam Pozitif ve Negatif Uzaklıkların Hesaplanması: Her alternatif için toplam pozitif SP_i ve negatif SN_i uzaklıklar aşağıdadır.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot PDA_{ij} \quad (14)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot NDA_{ij} \quad (15)$$

Normalizasyon: SP_i ve SN_i normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (16)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (17)$$

Skorların Hesaplanması: Her alternatifi skor AS_i skoru aşağıdaki gibi hesaplanacak.

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i) \quad (18)$$

Sıralama: AS_i skorlarına göre alternatifler sıralanır. En yüksek skor en iyi alternatifi gösterir.

BULGULAR

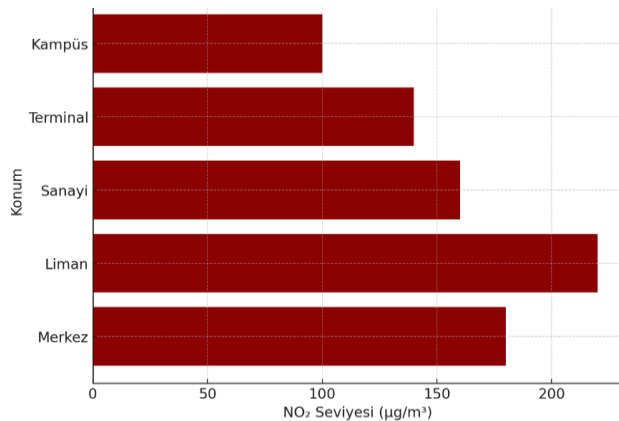
Trafik Kaynaklı Emisyon Değerleri: Bandırma hava izleme istasyonundan alınan PM_{10} , SO_2 ve NO_2 ölçüm verileri, saatlik ortalamalar ile en yüksek ve en düşük değerleri içerecek şekilde analiz edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 5. Bandırma ilçesi yıllık ortalama, PM_{10} , SO_2 , O_3 ve NO_2 değerleri (sim.csb.gov.tr, 2024)

Table 5. Bandırma district annual average PM_{10} , SO_2 , O_3 , PM_{10} and NO_2 values (sim.csb.gov.tr, 2024)

	Ortalama ($\mu g/m^3$)	Minimum ($\mu g/m^3$)	Maksimum ($\mu g/m^3$)	Tarih (Min)	Tarih (Max)
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	49,27	7,93	122,67	2025-03-18 09:00:56	2025-03-15 22:00:56
SO_2 ($\mu g/m^3$)	23,31	13,09	34,08	2025-03-20 04:00:56	2025-03-13 22:00:56
NOX ($\mu g/m^3$)	34,72	7,95	134,54	2025-03-16 14:00:56	2025-03-15 21:00:56

PM_{10} için ortalama değer $49,27 \mu g/m^3$ olarak ölçülmüş olan bu değer, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) önerdiği yıllık ortalama limit değer olan $20 \mu g/m^3$ 'ün üzerindedir. SO_2 ortalama $23,31 \mu g/m^3$ değeri, genel olarak kabul edilebilir sınırlar içindedir. Ancak değişkenlik göstermekte ve maksimum $34,08 \mu g/m^3$ 'e kadar çıkmaktadır. NO_2 ortalama $34,72 \mu g/m^3$ değeri normal kabul edilebilir, ancak maksimum değer $134,54 \mu g/m^3$ 'e ulaşması da endişe verici olarak görülebilir. Bu gözlem, Bandırma'da trafik kaynaklı emisyonların mevcut yeşil altyapının absorbe edebileceği kapasitenin üzerinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Bandırma kent merkezi NO_2 ortalama seviyeleri (sim.csb.gov.tr, 2024).

Figure 2. Bandırma city center NO_2 average levels (sim.csb.gov.tr, 2024).

Şekil 1'de Bandırma kent merkezindeki NO_2 konsantrasyonlarının mekânsal dağılımını trafik yoğunluğuna bağlı olarak göstermektedir. Elde edilen

bulgular, kentsel çevrede hava kirleticilerinin heterojen dağılımına ve bu dağılımı etkileyen faktörlere ışık tutmaktadır. Gözlemler, Çanakkale–Bursa karayolu aksı boyunca ve liman çevresinde NO_2 konsantrasyonlarının belirgin biçimde yükseldiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, söz konusu bölgelerdeki yoğun taşıt trafiği ve liman faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların kümülatif etkisine atfedilebilir. Kentsel ana arterler boyunca gözlemlenen yüksek NO_2 seviyeleri, motorlu taşıtlardan salınan primer kirleticilerin atmosferik birikiminin doğrudan bir sonucudur. Literatürde de benzer kentsel koridorlarda NO_2 konsantrasyonlarının, arka plan değerlerinin 2-3 katına ulaşabildiği belirtilmektedir (Vardoulakis ve ark., 2011). Buna karşın, yeşil doku yoğunluğunun arttığı doğu bölgelerinde NO_2 seviyelerinde anlamlı bir azalma tespit edilmiştir. Bu bulgu, kentsel yeşil alanların atmosferik kirleticilerin seyreltilmesinde ve hava kalitesinin iyileştirilmesinde oynadığı önemli rolü doğrulamaktadır. Vegetasyonun NO_2 gibi gaz kirleticileri absorbe etme kapasitesi, yaprak stoma açıklıkları ve yaprak yüzey alanı ile doğrudan ilişkilidir (Nowak ve ark., 2018). Söz konusu abiyotik-biyotik etkileşim, kirleticiler konsantrasyonlarının azaltılmasında önemli bir ekolojik hizmet sunmaktadır. Bandırma özelinde gözlemlenen bu mekânsal farklılaşma, Baldauf (2017) ve Tong ve arkadaşlarının (2015) bulguları ile paralellik göstermektedir. İlgili çalışmalarda belirtildiği üzere, yeterli yoğunlukta tesis edilmiş yeşil altyapı sistemleri, PM_{10} ve NO_2 gibi kentsel kirleticilerin konsantrasyonlarını %10-20 oranında azaltabilmektedir; bu iyileşme hem vegetasyonun doğrudan absorpsiyon kapasitesi hem de oluşturduğu mikroklima etkisiyle sağlanmaktadır.

Tablo 6. Bandırma trafik emisyon envanteri.

Table 6. Bandırma traffic emission inventory.

Kirleticiler	Binek Araçlar	Ağır Vasıtalar	Toplam
CO_2 (ton/gün)	100	70	170
NO_x (ton/gün)	2,5	2,6	5,1
$PM_{2.5}$ (ton/gün)	0,1	0,2	0,3

Trafik Emisyon Envanteri Sonuçları: Bandırma için hazırlanan trafik emisyon envanteri, kentteki taşıt kategorilerinin emisyon profillerini ortaya koymaktadır (Tablo 6). Araştırma bulgularına göre, günlük toplam CO_2 emisyonu 170 ton, NO_x emisyonu 5,1 ton ve $PM_{2.5}$ emisyonu 0,3 ton olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, emisyon dağılımının araç tiplerine göre heterojen bir yapı sergilediğini göstermektedir. Özellikle ağır vasıtaların emisyon yoğunluklarının, filodaki sayısal oranlarından daha yüksek bir paya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bandırma kentsel alanı için hesaplanan trafik kaynaklı emisyon verileri incelendiğinde, CO_2 , NO_x ve $PM_{2.5}$ parametrelerinin araç kategorilerine göre farklı dağılım örüntüleri sergilediği görülmektedir. Binek araçlar, CO_2 emisyonlarının yaklaşık %60'ını (100 ton/gün) oluşturarak bireysel motorlu taşıtların sera gazı emisyonlarına yüksek

katkısını ortaya koymaktadır. Buna karşın, günlük trafiğin yalnızca %15'ini oluşturan ağır vasıtalar, NO_x emisyonlarının %51'ini (2,6 ton/gün) ve PM_{2.5} emisyonlarının %67'sini (0,2 ton/gün) üretmektedir. Bu asimetrik katkı, dizel motorlu ağır taşıtların emisyon faktörlerinin binek araçlara kıyasla çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (EEA, 2023). Nitekim literatürde de dizel ağır vasıtaların, özellikle NO_x ve partikül madde emisyonları bakımından birim yakıt tüketimi başına orantısız derecede yüksek kirletici ürettiği vurgulanmaktadır (Anenberg ve ark., 2017). Bandırma'nın günlük NO_x emisyon yükünün (5,1 ton) benzer özelliklere sahip kentlerle karşılaştırıldığında yüksek olması, kentin ulaşım ağındaki stratejik konumu ve liman-karayolu entegrasyonuna bağlı yoğun ağır vasıta trafiği ile açıklanabilir. Gerçekten de liman bağlantılı kentsel bölgelerde ağır vasıta trafiği ve buna bağlı NO_x emisyon artışları çeşitli çalışmalarda raporlanmıştır (Merico ve ark., 2016; Viana ve ark., 2014).

Yeşil Altyapı İçin Bitki Türü Seçimi (TOPSIS & EDAS Sonuçları): Bandırma'da hava kalitesini iyileştirmek amacıyla değerlendirilen 10 farklı bitki türü, TOPSIS ve EDAS yöntemleri ile çok kriterli analizlere tabi tutulmuştur. Tablo 7, bu türlerin belirlenen kriterlere göre TOPSIS yöntemiyle hesaplanan göreceli yakınlık (C_i) değerlerini ve sıralamalarını göstermektedir. Benzer şekilde, Tablo 8, EDAS yöntemiyle hesaplanan toplam performans (AS) skorlarını ve sıralamalarını sunmaktadır. Her iki yöntemin sonuçları büyük ölçüde tutarlıdır.

Tablo 7. TOPSIS göreceli yakınlık (C_i) sıralamaları.

Table 7. TOPSIS relative closeness (C_i) rankings.

Ağaç Türü	TOPSIS Göreceli Yakınlık (C _i)	Sıralama
<i>Cedrus atlantica</i>	0,88	1
<i>Cupressus arizonica</i>	0,75	2
<i>Platanus orientalis</i>	0,6	3
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,55	4
<i>Pinus nigra</i>	0,52	5
<i>Liquidambar orientalis</i>	0,49	6
<i>Acer saccharinum</i>	0,45	7
<i>Thuja orientalis</i>	0,4	8
<i>Castanea sativa</i>	0,38	9
<i>Carpinus betulus</i>	0,35	10

Tablo 8. EDAS toplam performans (AS) skorları ve sıralaması.

Table 8. EDAS total performance (AS) scores and rankings.

Ağaç Türü	EDAS Performans Skoru (AS)	Sıralama
<i>Cedrus atlantica</i>	0,98	1
<i>Cupressus arizonica</i>	0,85	2
<i>Platanus orientalis</i>	0,68	3
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,6	4
<i>Pinus nigra</i>	0,58	5
<i>Liquidambar orientalis</i>	0,55	6
<i>Acer saccharinum</i>	0,5	7
<i>Thuja orientalis</i>	0,45	8
<i>Castanea sativa</i>	0,42	9
<i>Carpinus betulus</i>	0,38	10

Yapılan analizlerde Atlas sediri, TOPSIS yöntemiyle C_i = 0,88 ve EDAS yöntemiyle AS = 0,98 değerleri alarak her iki metodolojide de birinci sırada yer almıştır. Mavi servi türü ise her iki yöntemde de ikinci sırada çıkarak Atlas sedirine yakın bir performans sergilemiştir. Bu sıralama sonuçları, kriter

ağırlıklandırması ve türlerin morfolojik-fizyolojik özellikleri bağlamında anlamlıdır. Uzman değerlendirmelerine dayalı kriter ağırlıklarında, “emisyon tutma/azaltma kapasitesi” en yüksek öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Atlas sedirinin bir iğne yapraklı olması ve yıl boyunca yaprak dökmemesi (her dem yeşil), partikül madde ve NO_x gibi kirleticileri tutma kapasitesini artıran özelliklerdir. İğne yapraklı yapı, birim ağaç başına toplam yaprak yüzey alanını maksimize ederek kirletici absorpsiyonunu yükseltmektedir. Atlas sedirinin mavi servi karşısındaki üstünlüğü kısmen daha fazla boylanabilmesi ve daha güçlü bir kök/yaprak yapısı ile oluşturduğu rüzgâr perdesi etkisine bağlanabilir. Ayrıca Bandırma'nın Marmara Bölgesi iklim koşullarına iyi adaptasyon göstermesi, uzun ömürlü ve düşük bakım gerektirmesi de bu türün tercih edilmesinde etkili olmuştur. Elde edilen bulgular, Van Hove ve ark. (2015)'in Kuzey Avrupa kentsel alanlarında iğne yapraklı türlerin PM azaltımında yaprak döken türlere kıyasla daha başarılı olduğunu bildiren çalışmasıyla da uyumludur. Yeşil altyapı önlemlerinin planlanmasında, bitki türü seçimi kritik bir adımdır. Çok kriterli karar analizi ile Atlas sediri türü kuramsal olarak en uygun ağaç olarak belirlenmiştir. Nitekim Atlas sedirinin Avrupa'da sanayi devrimi sonrasında kent ağaçlandırmalarında sık tercih edilmesi, hava kirliliğine görece dayanıklı olmasından kaynaklanmıştır. Bununla birlikte, Atlas sediri Türkiye'nin yerli bir türü değildir; anavatanı Kuzey Afrika'daki Atlas Dağları'dır. Bu nedenle Bandırma gibi bir bölgede geniş çaplı bitkilendirme yaparken, ekolojik olarak yerli türlerin kullanımı daha sürdürülebilir ve tercih edilir bir yaklaşım olacaktır. Türkiye'nin güney Anadolu bölgelerinde doğal yayılış gösteren *Cedrus Libani* (Lübnan/Toros sediri), Atlas sedirine çok benzeyen bir ağaç türüdür. Lübnan sediri (yerel adıyla Toros sediri), Güney Anadolu Toroslarında yaygın olarak bulunur ve bölgenin iklim ve toprak koşullarına binlerce yıldır uyum sağlamıştır. 40 metreyi bulabilen boyu, geniş ve yatay yayılım gösteren tacı ile kentsel peyzajda etkileyici bir görünüme sahiptir. Bu tür de herdem yeşildir ve yapraklarını dökmediği için yıl boyu hava filtrasyonu sağlayabilir. Dolayısıyla kirletici tutma kapasitesi açısından Atlas sedirine yakın derecede etkilidir. Toros sedirinin Atlas sedirine kıyasla tek dezavantajı, literatürde bazı kaynaklarda kentsel hava kirliliğine duyarlılığının biraz daha yüksek olduğunun belirtilmesidir. Özellikle endüstriyel kirliliğin çok yoğun olduğu kent ortamlarında Atlas sedirinin daha dayanıklı olduğu rapor edilmiştir (treesandshrubsonline.org,2025).

Bununla birlikte, Bandırma ölçeğinde mevcut hava kirliliği seviyeleri dikkate alındığında, *Cedrus libani* türünün de uygun bakım ve yetiştirme koşulları altında kentsel alanlarda başarılı bir şekilde kullanılabileceği öngörülmektedir. Nitekim Türkiye'nin çeşitli şehir

parklarında ve üniversite kampüslerinde uzun yıllardır sağlıklı biçimde yetiştirilen örnekleri, bu türün kent içi yeşil altyapı uygulamaları açısından uygulanabilirliğini desteklemektedir. Ayrıca Toros sediri, Anadolu'ya özgü yerli bir tür olması dolayısıyla ekolojik uyum bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Yerel flora ile biyolojik çeşitliliği destekleyici nitelikte olup, istilacı tür riski taşımamaktadır. Bunlara ilaveten, Toros sedirinin Anadolu kültüründeki tarihsel ve sembolik önemi, bu türün halk tarafından benimsenmesini kolaylaştırmakta ve yeşil altyapı projelerinde toplumsal sahiplenmeyi artırıcı bir etki yaratabilmektedir. Bu yönüyle söz konusu tür, sadece çevresel değil, aynı zamanda sosyo-kültürel sürdürülebilirlik açısından da değerlidir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Bandırma kent merkezindeki trafik kaynaklı hava kirliliği değerlendirilmiş ve yeşil altyapının bu kirlilik üzerindeki etkisi çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, giriş bölümünde ortaya konan çevresel ve sağlık temelli sorunlara karşı yeşil altyapının somut bir çözüm potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

Yapılan emisyon hesaplamaları ve hava kalitesi analizleri Bandırma'da özellikle liman çevresi ve ana arterlerde yoğun bir NO_x ve PM₁₀ birikimi olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum hem EPA hem de Dünya Sağlık Örgütü standartlarının bazı günlerde aşıldığını göstermekte ve kent sakinleri için doğrudan bir sağlık riski oluşturduğunu düşündürmektedir. Özellikle solunum yolu hastalıkları ve kardiyovasküler problemlerle ilişkilendirilen bu tür kirlleticilerin (Nowak et al., 2018; Baldauf, 2017) yoğunlaştığı bölgelerde, yeşil altyapı eksiklikleri önemli bir faktördür.

Çalışma kapsamında uygulanan çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve EDAS, *Cedrus atlantica* türünün Bandırma'nın iklim koşulları, kentsel yapısı ve hava kirliliği profili açısından en uygun bitki türü olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, literatürde yer alan ve iğne yapraklı ağaçların partikül tutma kapasitesinin daha yüksek olduğunu gösteren bulgularla tutarlıdır (Van Hove et al., 2015). İğne yapraklı ağaçların partikül madde (PM) tutma kapasitesinin geniş yapraklı türlere kıyasla daha yüksek olduğu, çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Bu durum; iğne yapraklı türlerin yıl boyunca yeşil kalması, yaprak yüzeyinin mikroskobik pürüzlülüğü, balmumsu kaplama özellikleri ve yoğun iğne formu gibi morfolojik yapılarla ilişkilendirilmektedir (Zhang et al., 2022). Yaprak yüzey mikro morfolojisi, özellikle stoma yoğunluğu, tüy (trikom) yapısı ve epikutiküler mum tabakası, partikül madde yakalama kapasitesini doğrudan

etkileyen faktörler arasında yer alır. Bu bağlamda, Zhang ve arkadaşları (2022), iğne yapraklı türlerin yüzey mikro yapılarının, geniş yapraklılara kıyasla PM₁₀ ve PM_{2.5} gibi partikülleri daha etkili tuttuğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Kwak ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada, yol kenarları ve kent ormanlarındaki çeşitli ılıman iklim ağaç türleri karşılaştırılmış ve *Pinus densiflora* (Japon Kızılcıması) ve benzeri iğne yapraklı türlerin, geniş yapraklı türlere göre anlamlı ölçüde daha yüksek partikül madde tutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Tzoulas ve arkadaşları (2007) ise, yeşil altyapı unsurlarının halk sağlığı üzerindeki etkilerini ele alırken, özellikle iğne yapraklı ağaçların hava kalitesini iyileştirmedeki rolüne dikkat çekmektedir. Dar ve uzun iğne yaprakların partikül yakalama verimliliğinin, düz yapraklı türlere göre belirgin biçimde daha fazla olması, şehir planlamasında tür seçimi açısından önemli bir kriter haline gelmektedir. Aynı zamanda bu bitkinin düşük bakım ihtiyacı, uzun ömürlülüğü ve estetik katkısı da kent peyzajı açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Çalışmanın sağlığa etkileri, çevresel sürdürülebilirlik ve kent yaşam kalitesinin artırılması gibi hedefler açısından değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular bu amaçlara hizmet eden uygulanabilir çözümler önermektedir. Özellikle yoğun trafiğe sahip kentsel koridorlarda bitkilendirme uygulamaları ile yerel hava kalitesinin %10-20 oranında iyileştirilebileceği, yapılan akademik çalışmalarla da desteklenmektedir (Tong et al., 2015). Bununla birlikte, Bandırma'da uygulanacak yeşil altyapı stratejilerinin başarısı, yalnızca doğru bitki seçimine değil; aynı zamanda bu sistemlerin kentsel planlama ile entegrasyonuna, bakım politikalarına ve kamu farkındalığına da bağlıdır. Özellikle liman-karayolu entegrasyon bölgelerinde stratejik yeşil tampon bölgeler oluşturulması, sadece çevresel etkileri değil aynı zamanda ulaşım konforunu da olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Bu araştırmanın bulguları, ulaşımdan kaynaklanan emisyonların çevresel etkilerini azaltmada yeşil altyapı uygulamalarının etkili bir araç olduğunu açık biçimde ortaya koymuştur. Özellikle yol kenarı bitkilendirmesi ve yeşil bariyerler gibi uygulamaların, motorlu taşıtlardan kaynaklanan partikül madde ve zararlı gazların filtrasyonu üzerinde önemli derecede olumlu etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Nitekim literatürde de benzer şekilde, bitkisel bariyerlerin hava kalitesini iyileştirme potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır (Nowak ve ark., 2000; Baldauf, 2017; Janhäll, 2015). Bu doğrultuda, kentsel ulaşım politikalarında yeşil altyapı bileşenlerine daha fazla yer verilmesi çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışma, Bandırma kenti özelinde yürütülen analizlerle, kent içi ulaşım kaynaklı emisyonların çevresel etkilerinin azaltılmasında yeşil altyapı uygulamalarının önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Araştırma bulgularına göre, trafik kaynaklı emisyonlar özellikle ağır vasıta trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde hava kirliliğinin başlıca belirleyicisi konumundadır. Liman çevresi ile ana ulaşım arterleri, kirlletici yoğunluğunun yüksek olduğu ve dolayısıyla insan sağlığı açısından risk taşıyan başlıca alanlar olarak tanımlanmıştır. Bandırma'da yeşil altyapı unsurlarının yetersizliği, bu kirleticilerin atmosferde birikimini kolaylaştırmakta ve kentsel hava kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak stratejik biçimde planlanmış ve doğru bitki türleriyle desteklenmiş yeşil altyapı uygulamalarının, bu olumsuz etkileri anlamlı düzeyde azaltabileceği görülmüştür. Özellikle atlas sediri türü, iklimsel ve çevresel koşullara uygunluğu bakımından Bandırma için en uygun ağaç türü olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, söz konusu türün liman çevresi ve kent içi yol kenarlarında yaygınlaştırılması, hava kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Araştırmanın bulguları, yalnızca Bandırma özelinde değil, benzer yapısal ve çevresel özellikler taşıyan orta ölçekli, liman bağlantılı kentlerde de genellenebilir politika önerilerine temel oluşturmaktadır. Yeşil altyapı planlaması, estetik kaygıların ötesine geçerek işlevsel çevresel faydaları da hedefleyen, çok boyutlu bir kent politikası aracı olarak ele alınmalıdır. Bu doğrultuda, yerel yönetimlerin yeşil altyapı uygulamalarını ulaşım planlamalarıyla entegre biçimde tasarlaması, sürdürülebilir kent yönetiminin önemli bir bileşeni olacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, önerilen yeşil altyapı uygulamalarının uzun vadeli etkilerinin izlenmesi, hava kalitesi üzerindeki katkılarının kantitatif olarak değerlendirilmesi ve bu süreçlerin simülasyon tabanlı modellerle desteklenmesi önerilmektedir. Böylelikle, kent ölçeğinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak adına daha bütüncül ve bilim temelli kararlar alınabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Altınçekiç, H., & Altınçekiç, Ç.S. (1996). Karayollarında peyzaj düzenleme çalışmalarında bitkilendirme esasları. *Kentsel ve Kırsal Bölgelerde Karayolu Peyzajı Paneli, Bildiriler Kitabı*, 59-68. İstanbul.
- Anenberg, S. C., Miller, J., Minjares, R., Du, L., Henze, D. K., Lacey, F., Malley, C. S., Emberson, L., Franco, V., Klimont, Z., & Heyes, C. (2017). Impacts and mitigation of excess diesel-related NOx emissions in 11 major vehicle markets. *Nature*, *545*(7655), 467-471. DOI: [10.1038/nature22086](https://doi.org/10.1038/nature22086)
- Aslanboğa, İ. (1997). Kentlerde yol ve meydan ağaçlarının işlevleri, ağaçlamanın planlanması, uygulanması ve bakımlarıyla ilgili sorunlar. *Kent Ağaçlandırmaları ve İstanbul Sempozyumu*, 7-12. İstanbul.
- Baldauf, R. (2008). Roadside vegetation design characteristics that can improve local, near-road air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *14*(7), 451-460. DOI: [10.1016/j.trd.2009.01.001](https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.01.001)
- Baldauf, R. (2017). Roadside vegetation and air quality: a synthesis of scientific research. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *52*, 354-361.
- Behçet, R., & Yakın, A. (2020). Türkiye’de trafik kaynaklı emisyonlar ve çevresel etkileri. *Türk Çevre ve İklim Dergisi*, *8*(4), 23-33.
- Benedict, M.A., & McMahon, E.T. (2006). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Island Press.
- Bourne, J., Scott, A., & Kendall, A. (2018). Assessing traffic-related air pollution using community-based research methods. *Environmental Science & Policy*, *78*, 94-104. DOI: [10.1016/j.envsci.2018.04.001](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.001)
- Emberger, G. (2017). The role of transport in environmental policy. *Journal of Urban Transport*, *15*(3), 75-85.
- EPA. (2023). Air Quality and Emissions Reports. (Erişim tarihi: 05.01.2025) <https://www.epa.gov>
- EPA. (2024). EPA releases MOVES5 mobile source emissions model: Questions and answers, EPA-420-F-24-031.
- European Environment Agency (EEA). (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2022: Road transport. EEA Technical Report No. 2022/12. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Fan, Y., Meng, F., & Zhang, Y. (2018). Future trends in CO₂ emissions from road transport: A global perspective. *Energy Policy*, *120*, 302-311. DOI: [10.1016/j.enpol.2018.06.025](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.025)
- Fuglestedt, J., Berntsen, T., Myhre, G., Stordal, F., & Berglen, T.F. (2008). Climate forcing from the transport sectors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(2), 454-458. DOI: [10.1073/pnas.0702958104](https://doi.org/10.1073/pnas.0702958104)
- Gallagher, J., Baldauf, R., Fuller, C.H., Kumar, P., Gill, L.W., & McNabola, A. (2015). Passive methods for improving air quality in the built environment: A review of porous and solid barriers. *Atmospheric Environment*, *120*, 61-70. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2015.08.075](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.075)

- Gedikli, B. (2022).** Sokak ağaçları: Mekân üretimine ve kentsel ekosistem hizmetlerine katkıları. *İDEALKENT*, 13(37), 1841-1872. DOI: [10.31198/idealkent.1119777](https://doi.org/10.31198/idealkent.1119777)
- Gurney, K.R., Liang, J., Patarasuk, R., Song, Y., Huang, J., & Roest, G. (2021).** The Vulcan version 3.0 high-resolution fossil fuel CO₂ emissions for the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(6), e2020JD034894. DOI: [10.1029/2020JD034894](https://doi.org/10.1029/2020JD034894)
- Janhäll, S. (2015).** Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130-137. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2015.01.052](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052)
- Köroğlu, T., & Karabulut, U.C. (2018).** Transit kara trafiğinin Bandırma'nın hava kirliliğine katkısı üzerine bir inceleme. *Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu (UBS'18)*, Bildiriler Kitabı III, 363–374.
- Kuşkan, E., Yıldırım, M., & Aydın, Ö. L. (2024).** Trafik kaynaklı emisyonun azaltılabilmesi amacıyla sürdürülebilir ve çok modlu yol ağlarının tasarlanması; Erzurum–Tortum Yolu örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(3), 785-795. DOI: [10.21605/cukurovaumfd.1560198](https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1560198)
- Kuttler, W., Weber, K., & Schmidt, F. (2015).** Urban vegetation and air quality in Stuttgart: A case study on particle deposition. *Environmental Pollution*, 198, 73-82. DOI: [10.1016/j.envpol.2015.02.001](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.001)
- Küçük, V. (2010).** *Isparta kentiçi yol ağaçları yönetim planı*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta, 176 s.
- Kwak, M.J., Lee, J., Kim, H., Park, S., Lim, Y., Kim, J.E., Baek, S.G., Seo, S.M., Kim, K.N., & Woo, S.Y. (2021).** The removal efficiencies of several temperate tree species at adsorbing airborne particulate matter in urban forests and roadsides. *Atmosphere*, 12(7), 829. DOI: [10.3390/atmos12070829](https://doi.org/10.3390/atmos12070829)
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). (2024).** Bandırma meteorolojik verileri. (Erişim tarihi: 10.12.2024) <https://www.mgm.gov.tr>
- Merico, E., Donato, A., Gambaro, A., Cesari, D., Gregoris, E., Barbaro, E., Dinoi, A., Giovanelli, G., Masieri, S., & Contini, D. (2016).** Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in a Mediterranean harbour in Italy. *Atmospheric Environment*, 139, 1-10. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2016.05.024](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024)
- Nowak, D.J., Crane, D.E., & Stevens, J.C. (2000).** The urban forest effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions. *Journal of Forestry*, 98(5), 24-31.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A.R., & Greenfield, E. (2018).** Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129. DOI: [10.1016/j.envpol.2014.05.028](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028)
- Nüfusu.com. (2024).** Bandırma ilçe nüfus verileri 2023. (Erişim tarihi: 12.12.2024) https://www.nufusu.com/ilce/bandirma_balikesir-nufusu
- Paintmaps.com. (2025).** Bandırma lokasyon haritası. (Erişim tarihi: 30.05.2025) <https://tools.paintmaps.com/tr/harita-kirpma/TR/4-890462505>
- Sarı, D., Kurt, U., Resne, Y., & Çorbacı, Ö.L. (2020).** Kent parklarında kullanılan ağaç türlerinin sağladığı ekosistem hizmetleri: Rize örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(4), 541-550. DOI: [10.35229/jaes.774967](https://doi.org/10.35229/jaes.774967)
- Sausen, R., Isaksen, I., Grewe, V., & Lee, D.S. (2010).** Aviation impacts on atmospheric composition and climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D7), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009JD012037>
- Stanujkic, D., Zavadskas, E.K., Ghorabae, M.K., & Turskis, Z. (2017).** An extension of the EDAS method based on the use of interval grey numbers. *Studies in Informatics and Control*, 26(1), 5-12. DOI: <https://doi.org/10.24846/v26i1y201701>
- Sondakika.com. (2024).** Bandırma motorlu araç sayıları 2023. (Erişim tarihi: 12.12.2024) <https://www.sondakika.com/yerel/haber-bandirma>
- Tektaş, M., & Aslan, F. (2019).** Bandırma şehir içi ulaşım problemleri üzerine bir araştırma. *Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu (UBS'19)*, Bandırma.
- Todorova, A., Asakawa, S., & Aikoh, T. (2004).** Preferences for and attitudes towards street flowers and trees in Sapporo, Japan. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 403-416.
- Tong, Z., Whitlow, T.H., MacRae, P.F., Landers, A.J., & Harada, Y. (2015).** Quantifying the effect of vegetation on near-road air quality using brief campaigns. *Environmental Pollution*, 201, 141-149. DOI: [10.1016/j.envpol.2015.02.026](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.026)
- Treesandshrubsonline (2025).** Bitkiler ve çalılar (Erişim tarihi: 29.04.2025) <https://www.treesandshrubsonline.org/articles/ce>

[drus/#:~:text=C,often%20advocated%20for%20use%20in](#)

- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007).** Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, **81**(3), 167-178. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2007.02.001](#)
- Vardoulakis, S., Fisher, B.E., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca, N. (2011).** Modelling air quality in street canyons: A review. *Atmospheric Environment*, **37**(2), 155-182. DOI: [10.1016/s1352-2310\(02\)00857-9](#)
- Van Hove, B., Jacobs, C., Heusinkveld, B., & Elbers, J. (2015).** Green infrastructure as a means to reduce urban heat and air pollution. *Environmental Research Letters*, **10**(9), 094016.
- Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., & van Aardenne, J. (2014).** Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*, **90**, 96-105. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2014.03.046](#)
- Weatherspark. (2024).** Bandırma – Yıllık Rüzgar Hızı Verileri. (Erişim tarihi: 10.12.2024) <https://tr.weatherspark.com/y/98214/Bandırma-Balıkesir-Türkiye-Yıllık-Hava-Durumu>
- Zhang, Q., Zheng, Y., Tong, D., Shao, M., Wang, S., Zhang, Y., Xu, X., Wang, J., He, H., Liu, W., Ding, Y., Lei, Y., Li, J., Wang, Z., Zhang, X., Wang, Y., Cheng, J., Liu, Y., Shi, Q., ... & Hao, J. (2020).** Drivers of improved PM_{2.5} air quality in China from 2013 to 2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **116**(49), 24463-24469. DOI: [10.1073/pnas.1907956116](#)
- Zhang, W., Zhang, Z., Meng, H., & Zhan, T. (2022).** How does leaf surface micromorphology of different trees impact their ability to capture particulate matter? *Forests*, **13**(6), 866. DOI: [10.3390/f13060866](#)



Molecular identification of *Saprolegnia ferax* isolated from rainbow trout eggs in Turkey and antifungal activity of *Hypericum perforatum* and *Zingiber officinale* essential oils

Öznur ÖZİL^{1*}

Ergi BAHİRİOĞLU¹

Halit BAYRAK²

¹Isparta University of Applied Sciences, Eğirdir Fisheries Faculty, 32200, Merkez, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel University, Institute of Aquatic Sciences, 32200, Merkez, Isparta, Türkiye

Received: 12.03.2025

Accepted: 18.06.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: ÖZİL, Ö., Bahrioglu, E., & Bayrak, H. (2025). Molecular identification of *Saprolegnia ferax* isolated from rainbow trout eggs in Turkey and antifungal activity of *Hypericum perforatum* and *Zingiber officinale* essential oils. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(4), 392-400. <https://doi.org/10.35229/jaes.1656489>

Atf yapmak için: ÖZİL, Ö., Bahrioglu, E., & Bayrak, H. (2025). Türkiye'de gökkuşağı alabalığı yumurtalarından izole edilen *Saprolegnia ferax*'ın moleküler teşhisi ve *Hypericum perforatum* ve *Zingiber officinale* uçucu yağlarının antifungal aktivitesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(4), 392-400. <https://doi.org/10.35229/jaes.1656489>

* : <https://orcid.org/0000-0002-7863-2943>
 : <https://orcid.org/0000-0003-3707-337X>
 : <https://orcid.org/0000-0003-3573-6440>

***Corresponding author's:**

Öznur ÖZİL
Isparta University of Applied Sciences,
Eğirdir Fisheries Faculty, 32200, Merkez,
Isparta, Türkiye
✉: oznurgormez@isparta.edu.tr

Abstract: Saprolegniales is an order of oomycetes, and their life is completely dependent on water, hence, they are often called "water molds". This order has both pathogenic and saprophytic lifestyles. Saprolegniasis is one of the biggest problems for the aquaculture industry, especially in hatcheries for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production. Malachite green was successfully used to control *Saprolegnia* infection. However, Saprolegniasis has become a serious problem on aquaculture after its ban on the EU due to its toxicity and carcinogenic effects. In this study, the pathogenic fungus *Saprolegnia ferax* isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs was identified using molecular methods for the first time in Turkey. In addition, the susceptibility of the identified *S. ferax* strain to essential oils of *Hypericum perforatum* (St. John's wort) and *Zingiber officinale* (ginger) was determined. DNA barcoding was performed with ITS1-ITS4 primers for molecular identification of the isolated fungal species. DNA sequences obtained from the NCBI GenBank were used to construct a phylogenetic tree. The disk diffusion and tube dilution methods were used to determine the antifungal activities of essential oils. While ginger essential oil showed antifungal activity with a Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of 15.62 µl/ml and Minimum Lethal Concentration (MLC) of 250 µl/ml, the MIC value of St. John's wort essential oil was found to be 125 µl/ml, the MLC value was 1000 µl/ml. The findings indicate that ginger essential oil may be considered an effective natural antifungal agent against *S. ferax*.

Keywords: Antifungal activity, disc diffusion, ITS region, medicinal herbs, tube dilution.

Türkiye'de gökkuşağı alabalığı yumurtalarından izole edilen *Saprolegnia ferax*'ın moleküler teşhisi ve *Hypericum perforatum* ve *Zingiber officinale* uçucu yağlarının antifungal aktivitesi

Öz: Saprolegniales, suya tamamen bağımlı olarak yaşayan bir oomycetes (yumurta mantarları) takımıdır ve bu nedenle genellikle "su küfleri" olarak adlandırılırlar. Bu takım, hem patojenik (hastalığa neden olan) hem de saprofitik (çürükçül) yaşam tarzları geliştirmiştir. *Saprolegnia* enfeksiyonları (Saprolegniasis), özellikle gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üretimi yapılan kuluçkahanelerde, su ürünleri endüstrisi için en büyük problemlerden biridir. *Saprolegnia* enfeksiyonunu kontrol altına almak için malaşit yeşili başarıyla kullanılmıştır. Ancak, toksik ve kanserojen etkileri nedeniyle Avrupa Birliği'nde yasaklanmasının ardından Saprolegniasis ciddi bir sorun haline gelmiştir. Bu çalışmada gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yumurtalarından izole edilen *Saprolegnia ferax* türü patojenik mantar türü Türkiye'de ilk defa moleküler yöntemlerle teşhis edilmiştir. Ayrıca çalışmada, teşhis edilen *S. ferax* suşunun *Hypericum perforatum* (kantaron) ve *Zingiber officinale* (zencefil) uçucu yağlarına karşı duyarlılığı belirlenmiştir. İzole edilen mantar türünün moleküler teşhisi amacıyla ITS1-ITS4 primerleri ile DNA barkotlama yapılmıştır. Filogenetik analiz yapılması amacıyla NCBI genbank veri tabanından temin edilen DNA dizileri filogenetik ağaç oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. Uçucu yağların antifungal aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla disk difüzyon ve tüp dilüsyon yöntemleri kullanılmıştır. Zencefil uçucu yağı, 15,62 µl/ml'lik Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MIC) ve 250 µl/ml'lik Minimum Letal Konsantrasyonu (MLC) ile antifungal etki gösterirken, kantaron uçucu yağının MIC değeri 125 µl/ml ve MLC değeri 1000 µl/ml olarak bulunmuştur. Bulgular, özellikle zencefil uçucu yağının *S. ferax*'a karşı etkili bir doğal antifungal ajan olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Antifungal aktivite, disk difüzyon, ITS bölgesi, tıbbi bitki, tüp dilüsyon.

***Sorumlu yazar:**

Öznur ÖZİL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, 32200, Merkez,
Isparta, Türkiye
✉: oznurgormez@isparta.edu.tr

INTRODUCTION

Saprolegniales is an order of oomycetes, and their life is completely dependent on water, hence, they are often called “water molds”. This order has both pathogenic and saprophytic lifestyles. *Saprolegnia*, the largest genus of the family Saprolegniaceae, containing 25 species, has a wide distribution worldwide and shows pathogenic character in the embryonic and adult stages of fish and amphibians (Pavić et al., 2022). The organism is usually saprophytic, but it often becomes pathogenic when fish are stressed, injured, or have weakened immune systems. These pathogens cause a disease known as saprolegniasis, which is characterized by white or gray cotton-like hyphae on areas of the skin, gills, and fins of fish. If the infection is not treated, the hyphae invade the underlying tissues and blood vessels, leading to disrupted osmoregulation, respiratory failure, loss of balance, and ultimately death of the infected fish (Tedesco et al., 2019). The pathogens also infect unfertilized or dead eggs, aggregating them together due to hyphae and spreading the infection to other healthy eggs in the same environment. Saprolegniasis is one of the biggest problems for the aquaculture industry, especially in hatcheries for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production.

Although various chemical substances such as formaldehyde, hydrogen peroxide, chloramine-T, batticon (polyvinylpyrrolidone iodine), apple vinegar, rock salt, and potassium permanganate have been used in different doses for disinfection against fungal infections during the incubation phase of rainbow trout eggs (Balta & Taşkın, 2022; Abdullahoğlu & Balta, 2023), malachite green has been reported to be particularly effective in controlling *Saprolegnia* infections. However, Saprolegniosis has re-emerged and become a serious problem in aquaculture after the ban of malachite green in the EU at the beginning of the 2000s due to its toxicity and carcinogenic effects (Elameen et al., 2021). There was an urgent necessity to create alternative strategies to address saprolegniosis due to the prohibition of malachite green (Sandoval-Sierra et al., 2014). Hence, numerous chemicals such as formalin, boric acid, peracetic acid, clotrimazole, copper sulfate, benzoic acid, hydrogen peroxide, and borneol have been tried to control *Saprolegnia* infections. Formalin is the most widely used among the other treatments, nowadays. The formalin treatment seems to be the only economically efficient way of controlling *Saprolegnia* infections in aquaculture. However, their use has been limited due to their negative environmental and fish health effects (Kumar et al., 2020). Therefore, the search for effective and safe natural therapeutic agents against *Saprolegnia* has increased. Medicinal plants have been reported to have antimicrobial (bacterial, fungal, viral, and ectoparasitic) effects thanks to their numerous bioactive components (Reverter et al., 2014). Specifically, medicinal plants antifungal activity proven

against fungal diseases on rainbow trout (*O. mykiss*) eggs (Hoskonen et al., 2015; Metin et al., 2015; Ozdemir et al., 2022; Ozil et al., 2022), carp (*Cyprinus carpio*) (ALsafah & AL-Faragi, 2017), crayfish eggs (Koca & Cevikbas, 2015) and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) juveniles (Mansour et al., 2023). In addition, the use of medicinal plants is becoming increasingly widespread due to their biodegradable properties, leaving no residue in living tissues (Dawood et al., 2021).

St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) is a member of the genus *Hypericum*. This genus has 400 species worldwide, native to West Asia, North Africa, Madeira, the Azores, and Europe. It also occurs naturally in many other parts of the world, especially in North America and Australia. *H. perforatum* has many medicinal applications that aim to treat skin wounds, eczema, burns, digestive disorders, and psychological disorders. In addition, it has been reported that the plant shows strong antimicrobial activity against bacterial and fungal species with its hyperforin, hypericin, quercitrin, hyperoside, avicularin, rutin, quercetin, and kaempferol components (Saddiqe et al., 2010). *Zingiber officinale*, commonly known as ginger, belongs to the Zingiberaceae family, and it is an important medicinal herb widely used as a spice, flavoring agent, and herbal medicine worldwide. It is used in complementary medical practices to treat various diseases, such as nausea, vomiting, asthma, cough, inflammation, anorexia, constipation, and pain (Dhanik et al., 2017). Studies have reported that the plant has antifungal, antibacterial, and anthelmintic activity (Chen et al., 2008; Chang et al., 2012).

This study identified the molecular cause of fungal infection in rainbow trout eggs. It also investigated the antifungal activity of St. John's wort (*H. perforatum*) and ginger (*Z. officinale*) oils against the identified *Saprolegnia* sp.

MATERIAL AND METHOD

Isolation of *Saprolegnia* strain: The strain of *Saprolegnia* was isolated from rainbow trout (*O. mykiss*) eggs collected from a commercial rainbow trout farm in Çameli district of Denizli province, following the method described by Diler and Timur (1995). Briefly, infected rainbow trout eggs were directly placed onto Glucose Yeast Extract Agar (GY agar – glucose: 1.0 g, yeast extract: 0.2 g, K₂HPO₄: 0.204 g, Na₂HPO₄·12H₂O: 0.0596 g, agar: 2 g, deionized water: 100 ml). Penicillin-streptomycin (500 µm/ml) supplemented agar plates were incubated at 20°C for 3–5 days. After incubation, sterile hemp seeds (*Cannabis sativa*) were placed on the fungal culture to allow the fungal hyphae to colonize the hemp seeds. Subsequently, the fungus-colonized hemp seeds were transferred into sterile tubes containing distilled water and kept at 20°C for 48 hours to induce zoospore release from the zoosporangium. The

inoculum containing spores was then plated onto GY agar using a sterile pipette. After incubation at 20°C for 3–5 days, a 1 cm² section was cut from the GY agar using a sterile scalpel and transferred to a new culture medium for purification (Diler & Timur, 1995). The isolates were then examined macroscopically (colony morphology, shape, and color, growth pattern) and microscopically (presence of septate walls, sexual organ structure, spore size and arrangement) (Diler, 1992).

Molecular identification of *Saprolegnia*: Fungal DNA isolation was made using the commercial plant and fungi DNA isolation kit (EurX, Poland). Purity and amount of the isolated DNA samples were controlled using spectrophotometric measurement on a Nanodrop 2000 (Thermo Scientific, USA). In the PCR, the primers targeting ITS1-ITS4 regions of fungal DNA were used for conventional PCR. PCR reactions were performed with a commercially available Taq polymerase PCR kit (Solis Biodyne, Estonia). ITS1 -5' TCCGTAGGTGAACCTGCGG 3' and ITS4 -5' TCCTCCGCTTATTGATATGC 3' primers were used, and the PCR conditions given in Table 1 were used for conventional PCR. Thermal cycling was performed in a Biorad C-1000 according to Bahrioglu et al. (2024) with minor changes. Briefly, the sequences were amplified with the following PCR conditions: 5 min denaturation step at 95 °C, followed by 30 cycles of denaturation at 95 °C for 45 s, annealing at 57 °C for 45 s, and 60 s of extension at 72 °C, and final extantion step at 72 °C for 5 min.

Table 1. The components, concentrations, and volumes used in the PCR.

Component	Stock Concentration	Volume (µl)
PCR Buffer	10X	2
MgCl ²	25 mM	1.5
dNTP mix	20 mM	0.5
ITS1 Primer	10 µM	0.5
ITS4 Primer	10 µM	0.5
Taq DNA Polymerase	5U/µl	0.1
DNA template		3.0
DEPC-treated water		11.9

The amplicons obtained were visualized under UV light by electrophoresis on a 1% agarose (ethidium bromide) gel prepared (1x TAE buffer) at 100 volts for 90 minutes. The HighPrep™ PCR Clean-up System (MAGBIO Genomics, USA) purification kit was used for amplicon purification. An ABI 3730XL Sanger sequencer (Applied Biosystems, USA) with the BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, USA) was used for Sanger sequencing. Nucleotide reads obtained with the ITS1 and ITS4 primers were contig-formed. The CAP contig assembly algorithm in BioEdit software was used to generate a consensus sequence.

The determined sequence was submitted to NCBI GenBank (Accession Number: [PV034298](#)). The obtained sequence has also been submitted to the NCBI Blast Nucleotide Search to find similar sequences. Various sequences were randomly selected for further analysis.

Sequences were representative of various *Saprolegnia* species. The multiple sequence alignment was conducted using the gene sequences from the search results. Multiple sequence alignments were performed with the ClustalW algorithm. MEGA X software was used to calculate BIC scores (Bayesian Information Criterion) for the maximum likelihood phylogenetic tree (Bahrioglu et al., 2024). The Tamura-3 parameter model with gamma distribution (+G) had the smallest BIC value and was considered to describe the substitution pattern best. Therefore, the maximum likelihood (K92+G) model was used to build a phylogenetic tree of *Saprolegnia* species.

Preparation of plant oils and Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) analysis: The ginger oil (*Z. officinale*) and St. John's wort oil (*H. perforatum*) were obtained from a commercial company (Manolya Doğal ve Aromatik Ürünler, Türkiye). The chemical content analysis of the oils was carried out by gas chromatography analysis at Süleyman Demirel University's Innovative Technologies Application and Research Center (YETEM). Gas chromatograph analysis was made in a Hewlett-Packard 6890 series (Perkin Elmer (PE) Auto System XL, USA) equipped with a flame ionization detector (FID). Gas chromatography was performed according to Özil et al. (2022).

Determination of in vitro antifungal effects of plant oils: Tube dilution and disk diffusion methods were used to determine the antifungal effects of ginger (*Z. officinale*) and St. John's wort (*H. perforatum*) oils.

Disk diffusion and tube dilution: The disk diffusion method was carried out to determine the fungistatic activity of plant oils inhibiting fungal growth. Fungal inoculum for the test was obtained from cultures grown on GY agar medium. Test concentrations (2.5-1000 µl/ml) were prepared by dissolving the oils in dimethyl sulfoxide (DMSO). A positive control (10 µl/ml formaldehyde) and a negative control (DMSO) were designated for further processing. Diffusion disks (6 mm) were impregnated with 25 µl of the prepared treatment groups. Fungi inoculated GY agar was then incubated for five days at 20°C. Each concentration was run in triplicate. The inhibition zones were measured as millimeters, and the value inhibiting 50% of the fungus was determined as the minimum fungistatic concentration (MIC) (Tampieri et al., 2003; Pirbalouti et al., 2009; Pirbalouti et al., 2010). The fungicidal activity was determined by the tube dilution method. Fungicidal activities were determined where the treatment concentration kills 99.9% of the fungal inoculum. To obtain fungal inocula, sterile hemp seeds were placed around the cultures on GY-PS agar, incubated for 3 to 5 days at 20°C, and fungal hyphae colonized on hemp seeds. The oils were dissolved in DMSO, and 1000-2.5 µl/ml concentrations were prepared in sterile tubes. In addition, two different tubes were used as positive

control (formalin 10 µl/ml) and negative control (DMSO). The fungal inocula were added to these tubes and subjected to a seven-day incubation period at 20°C. Mycelium in the tubes was observationally evaluated, and the concentration that inhibited 99.9% of all the fungal inoculum was determined to be the minimum lethal concentration (MLC) (Pirbalouti et al., 2009).

Statistical analysis: The antifungal properties of ginger (*Z. officinale*) and St. John's wort (*H. perforatum*) oils were statistically analyzed using SPSS 19. The significance level of the parameters in the present study was presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). Data were controlled for normality using the Shapiro-Wilk test. The results were analyzed using one-way ANOVA and Duncan's multiple comparison test. Statistical differences were accepted where the p-value was below 0.05.

RESULTS

Identification of *Saprolegnia* species: When the fungal colonies growing on GY agar were examined morphologically, long, white, and cottony structures were observed. When these colonies were examined microscopically (100x and 40x), they had branched, septa-less hyphae and large and dense mycelium. Amplification of the ITS region from the genomic DNA of the isolates using ITS1 primers produced amplicons of approximately

1326 bp. The nucleotide sequences obtained from Sanger sequencing were searched in NCBI BLAST. According to the results of the nucleotide search, the ITS sequence obtained in the study showed a 100% match with different *S. ferax* strains. The ITS region of 15 strains of *S. australis*, *S. parasitica*, *S. ferax*, and *S. diclina* species registered in the NCBI GenBank database were used for phylogenetic analysis.

The phylogenetic tree (Figure 1), constructed using the Maximum Likelihood method with the Tamura-3 parameter model, comprises 16 nucleotide sequences and 668 positions in the final dataset. The model selection criteria indicate that the Tamura 3-parameter model with gamma distribution had a Bayesian Information Criterion (BIC) score of -1522.77. Initial trees were generated by applying the Neighbor-Joining and BioNJ algorithms to a matrix of pairwise distances. Pairwise distances were estimated using the Tamura 3-parameter model. A discrete Gamma distribution was used to model the evolutionary rate differences among sites (5 categories, parameter = 0.1578). The estimated transition rate (R) of 1.63 indicates moderate nucleotide variation. The phylogenetic tree contains several well-supported clades, as the bootstrap values indicate. In particular, the bootstrap value of 100 between *S. ferax*, *S. parasitica*, *S. australis*, and *S. diclina* reflects a high accuracy of molecular identification.

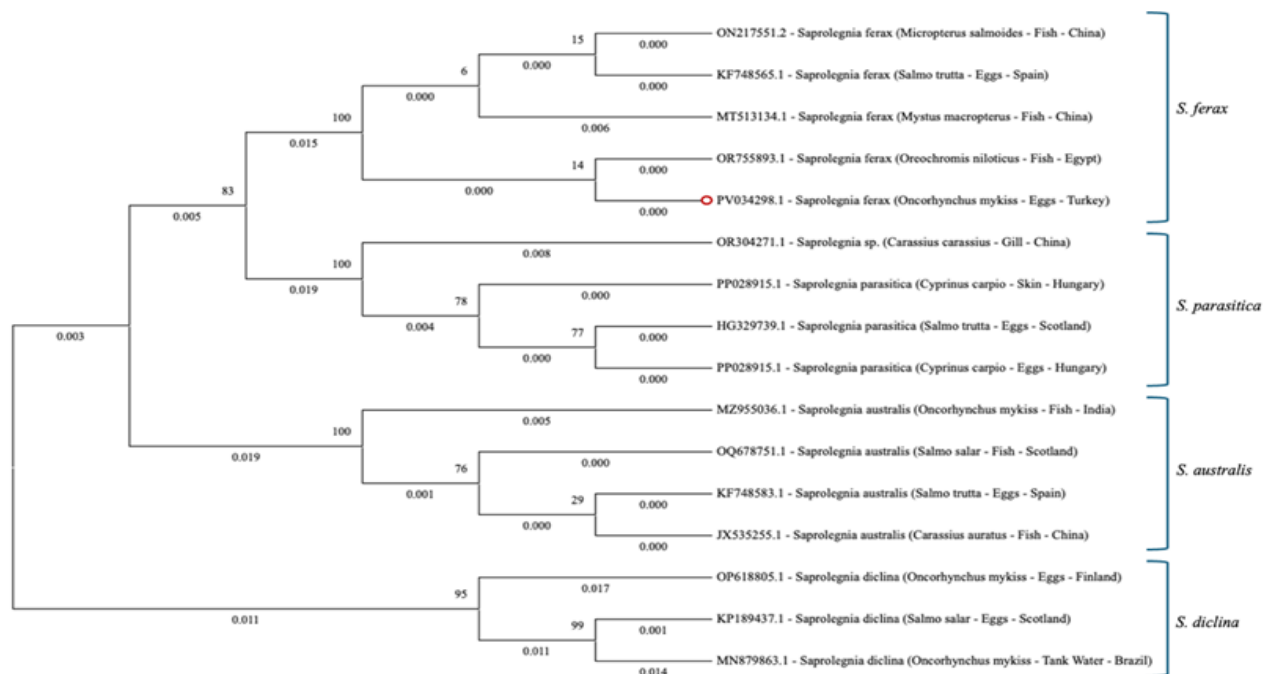


Figure 1. The phylogenetic tree of the ITS region of *Saprolegnia* species derived from the NCBI GenBank database. The red-circled branch is the *S. ferax* strain used for the present study.

GC-MS analysis results of plant oils: According to the chemical content analysis of plant oils, the main components were determined to be α -curcumene (22.4%), zingiberene (12.2%), farnesene (7.7%), (+)- β -cedrene (6.5%), 1,8-cineole (5.4%), camphene (5.1%), citral

(4.7%) in ginger (*Z. officinale*), and α -pinene (27%), β -pinene (10.3%), β -caryophyllene (6.7%), germacrene-d (6.3%), α -selinene (4.5%) in St. John's wort (*H. perforatum*).

In vitro antifungal activity: The disk diffusion and tube dilution tests showed that the ginger (*Z. officinale*) and the St. John's wort (*H. perforatum*) oils had antifungal effects against the tested *S. ferax* strain (Figure 2). It was determined that ginger (*Z. officinale*) oil was effective in the concentration range of 15.62-1000 µl/ml. This oil was found to be more effective on the fungal strain compared to the positive control group (26.50 ± 0.70^b mm) with zone diameters of 31.00 ± 1.41^a mm and 28.50 ± 2.12^{ab} mm at concentrations of 1000 and 500 µl/ml ($p < 0.05$) (Figure 2 and 3). St. John's wort (*H. perforatum*) oil showed an antifungal effect in the 125-1000 µl/ml concentration range, but this effect was lower than the positive control group (Figure 2).

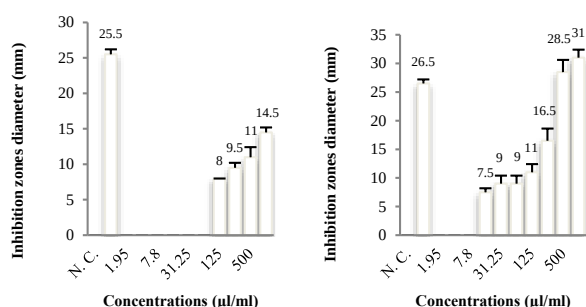


Figure 2. Inhibition zone diameter values of St. John's Wort (*H. perforatum*) (left) and ginger (*Z. officinale*) plant oil (right) obtained from the disk diffusion test result.

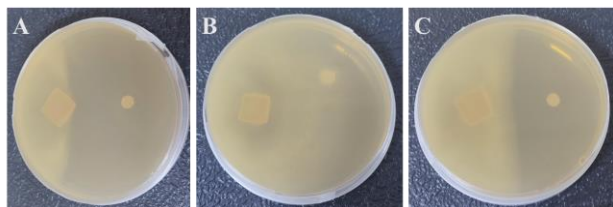


Figure 3. GYPS Agar images of disc diffusion tests. A- ginger (*Z. officinale*) plant oil. B- Negative control. C- St. John's Wort (*H. perforatum*).

The disk diffusion tests showed that the MIC values of the *S. ferax* isolate were 15.62 µl/ml for ginger (*Z. officinale*) oil and 125 µl/ml for St. John's Wort (*H. perforatum*) oil. According to the tube dilution test, the ginger (*Z. officinale*) oil killed the fungi at 250 µl/ml, and St. John's Wort (*H. perforatum*) oil was determined to have a fungicidal effect at 1000 µl/ml, and this concentration was recorded as MLC.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Saprolegnia ferax has been reported to be a pathogenic fungal species commonly found in fish (Sandoval-Sierra et al., 2014) and amphibians (Romansic et al., 2009) in freshwater environments worldwide. Since its first description by Kützinger (1843), it has been reported from various locations including America, Asia, Australia,

and Europe (Johnson et al., 2002). Morphological and physiological characteristics of *S. ferax* species in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) (Stueland et al., 2005), Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) eggs (Sakaguchi et al., 2019), yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) eggs (Cao et al., 2012), crayfish (*Astacus astacus*) (Kozubikova-Balcarova et al., 2013), Argentinian silverside (*Odontesthes bonariensis*) juveniles and eggs (Pacheco Marino et al., 2009), *Odontesthes bonariensis* fish (Pacheco-Marino et al., 2011), Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish (El Gamal et al., 2023), from water, fish and eggs in a rainbow trout (*O. mykiss*) farm in Mexico (Vega-Ramírez et al., 2013), from Atlantic salmon (*Salmo salar*), rainbow trout (*O. mykiss*) and king salmon (*O. tshawytscha*) in Chile (Sandoval-Sierra et al., 2014), *Cyprinus carpio*, *Carassius carassius* and *Perca fluviatilis* (Markovskaja et al., 2024), and water, fish and egg samples from a trout farm in Croatia (Pavic et al., 2022).

S. ferax was first isolated as a pathogenic agent from the eggs and juveniles of rainbow trout raised in aquaculture facilities in the 1990s in Turkey (Diler, 1992). Identification of *S. ferax* was done using the morphological methods in the first report. Nowadays, disease monitoring and accurate identification of pathogens have become important aspects in the fight against pathogens. The increasing use of molecular methods allowed us to combine morphological methods with molecular methods in diagnosis, and this application plays an effective role, especially in the identification of morphologically similar *Saprolegnia* species (Tedesco et al., 2021). In this study, the causative agent of the disease was identified as *S. ferax* fungal species, as a result of inoculations and molecular examinations from infected rainbow trout eggs.

In particular, it has been reported that the hyphae of *S. ferax* species reach deeper parts of the egg chorion compared to other fungal species, and therefore, its pathogenicity is higher (Hardy et al., 2023). In this respect, it is important to isolate the presence of this species, which has high pathogenicity in eggs, from rainbow trout aquaculture facilities and to investigate the treatment methods. In this direction, antifungal activity of different medicinal plants against various pathogenic fungi has been investigated in many studies (Gormez & Diler, 2014; Metin et al., 2015; ALsafah & AL-Faragi, 2017; Emara et al., 2020). When the literature is examined, it is stated that the antifungal effects of plants are related to their phytochemicals. It has been reported that the antifungal activity of these phytochemicals is linked to various mechanisms such as disruption of the cell membrane, inhibition of cell division, hyphae development, and metabolic pathways (Bouyahya et al., 2020).

Different extraction methods are used to obtain phytochemicals from medicinal plants. The most common

of these methods are extracts and essential oils. Although plant extracts and essential oils are of plant origin, they show significant differences in terms of content, extraction method, and areas of use (Bolouri et al., 2022). Extracts are obtained from parts of the plant such as leaves, roots, and flowers with the help of water, ethanol, or other solvents and contain a wide range of metabolites, especially polyphenolic compounds such as flavonoids, saponins, tannins, and polysaccharides (Cao et al., 2013). In contrast, essential oils consist of low molecular weight, volatile, and aromatic compounds synthesized as a result of the secondary metabolism of the plant and are generally obtained by methods such as steam distillation (Mohamed & Alotaibi, 2023). The main components of essential oils are terpenes and phenylpropanoids, and the content and ratios of these compounds vary depending on the plant species, the organ used, and the harvest and processing conditions (Bolouri et al., 2022; Mohamed & Alotaibi, 2023).

In this study, the high phenolic compound contents of ginger (*Z. officinale*) and St. John's wort (*H. perforatum*) essential oils, as determined in this study, and their antifungal activity on *S. ferax* show significant results when compared to previous studies. Ginger oil (*Z. officinale*) presented a strong antifungal effect with a MIC value of 15.62 µl/ml and a MLC value of 250 µl/ml, while this effect was lower for St. John's wort (*H. perforatum*) oil with a MIC value of 125 µl/ml and a MLC value of 1000 µl/ml.

Mostafa et al. (2020) showed that among the plant extracts of *Punica granatum*, *Thymus vulgaris*, *Nigella sativa*, and *Zingiber officinale* applied against *Saprolegnia diclina* isolated from Nile tilapia, only the ethanol extracts of *P. granatum* and *T. vulgaris* inhibited mycelial growth with MIC of 200 and 400 ppm, respectively. This finding suggests that antifungal activity may vary depending on the active compound profiles and concentrations of plant extracts. Similarly, the study by Caruana et al. (2012) demonstrated that the plant extracts of *Atractylodes macrocephala*, *Zingiber officinale*, *Chrysanthemum* spp., and *Yucca* spp. exhibited antifungal efficacy at a dose of 10 ppm against *Saprolegnia australis* isolated from infected brown trout (*Salmo trutta* L.), supporting the notion that antifungal activity can be observed even at low doses. In the study by Cao et al. (2013), *Zingiber officinale* extract was found effective with an MIC value of 8192 mg/l against the oomycete water mold *Achlya klebsiana* isolated from yellow catfish (*Peleobagrus fulvidraco*) eggs, indicating that formulation differences between extracts and essential oils may play a decisive role in antifungal efficacy. Furthermore, the study by Xue-Gang et al. (2013) evaluating *Zingiber officinale* extract in the concentration range of 15.6–500 mg/l against *Saprolegnia*

sp. stock strain did not observe significant efficacy, highlighting that the preparation method of the extract and the concentration of active compounds are critical factors in determining antifungal activity.

Although the varying levels of antifungal activity observed in the literature have been associated with different extract forms and phytochemical compositions, the fact that the same plant (*Z. officinale*) exhibits different MIC and MLC values against different *Saprolegnia* species suggests that this plant is not suitable for treating all fungal species and has a species-specific effect. For *S. ferax* isolated from the skin of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), the medicinal plant extracts obtained from *Syzygium aromaticum*, *Magnolia officinalis*, *Melaphis chinensis*, *Euphorbia fischeriana* Steud, and *Sophora flavescens* were found effective with MIC of 500, 62.5, 250, 62.5, and 250 mg/l, respectively (Huang et al., 2015). This finding indicates that antifungal efficacy is closely related to the plant's phenolic content intensity and active compound composition. Similarly, Hussein et al. (2000) reported MIC of 500, 250, and 125 µg/ml and fungicidal concentrations of 1,000, 500, and 250 µg/ml for *Saprolegnia parasitica*, *S. diclina*, *S. ferax*, *S. salmonis*, *Achlya klebsiana*, and *Aphanomyces piscicida* using a 10% v/v eugenol solution in DMSO. Additionally, MIC of 250, 125, 250, and 63 µg/ml were obtained with the eugenol-based FA 100 solution, emphasizing the critical role of formulation in evaluating antifungal activity.

In the study by Ackah et al. (2025) on a reference strain of *S. ferax* isolated during past Saprolegniasis outbreaks in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Azadirachta indica* (neem leaf), *Vernonia amygdalina* (bitter leaf), and *Terminalia catappa* (Indian almond leaf) extracts, along with potassium permanganate (KMnO₄), were tested. The complete inhibition of mycelial growth with KMnO₄ and *T. catappa* extract at an MIC of 5 mg/mL demonstrates that natural products can exhibit strong antifungal activity even at low concentrations. Furthermore, Macchioni et al. (1999) investigated the water, methanol, and water+ethanol extracts of *Artemisia verlotorum* and *Santolina etrusca* against *Saprolegnia ferax* and found that *A. verlotorum*'s water extract had an MIC of 1%, while its methanol and water+ethanol extracts exhibited stronger efficacy with an MIC of 0.25%, highlighting the significant impact of solvent choice and extraction methods in assessing antifungal activity. Overall, these studies suggest that the antifungal efficacy of different plant extracts and essential oils varies significantly depending on multiple factors, including the fungal species tested, application method, solvent used, extraction techniques, and active compound concentrations. In this context, the MIC value of 15.62 µl/ml obtained for ginger oil in our study demonstrates a

notably strong antifungal effect compared to previous literature findings, particularly when considering the differences in active compound profiles and concentration between extracts and essential oils.

In conclusion, the use of plant-derived products as antifungal agents offers environmentally friendly and effective alternatives against fungal pathogens in aquatic environments. Future studies focusing on the isolation of active compounds and the detailed elucidation of their mechanisms of action are of great importance. Additionally, when utilizing a plant species for its antifungal properties, its species-specific effects should not be overlooked, and molecular identification of the target pathogen is recommended for optimal application.

REFERENCES

- Abdullahoğlu, E., & Balta, F. (2023). Investigation of the use of some chemical substances for disinfection purposes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* walbaum, 1972) eggs. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 8(4), 691-699. DOI: 10.35229/jaes.1395845
- Ackah, M., Ali, S.E., Sowah, W.N., Asamoah, E.K., & Addo, S. (2025). In vitro and in vivo activity of herbal and chemical treatments against *Saprolegnia ferax*-a causative agent for saprolegniasis. *Aquaculture International*, 33(1), 67. DOI: 10.1007/s10499-024-01765-0
- ALsafah, A.H., & AL-Faragi, J. K. (2017). Influence of thyme (*Thymus vulgaris*) as feed additives on growth performance and antifungal activity on *Saprolegnia* spp. in *Cyprinus carpio* L. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(6), 1598-1602. DOI: 10.13140/RG.2.2.16040.72961
- Bahrioğlu, E., Kondo, H., & Hirano, I. (2024). Effects of inactivated *Streptococcus iniae*, *Edwardsiella tarda*, and Poly I: C on mRNA Expression Levels of CXCL-10 and CXCL-9 Genes in Japanese Flounder. *Acta Aquatica Turcica*, 20(2), 128-139. DOI: 10.22392/actaquatr.1312305
- Balta, F., & Taşkin, H. (2022). Determination of usage doses of some chemical substances in the prevention of fungal infections in rainbow trout eggs. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7(4), 509-515. DOI: 10.35229/jaes.1207012
- Bolouri, P., Salami, R., Kouhi, S., Kordi, M., Asgari Lajayer, B., Hadian, J., & Astatkie, T. (2022). Applications of essential oils and plant extracts in different industries. *Molecules*, 27(24), 8999. DOI: 10.3390/molecules27248999
- Bouyahya, A., Lagrouh, F., El Omari, N., Bourais, I., El Jemli, M., Marmouzi, I., Salhi, N., El Abbes Faouzi, M., Belmehdi, O., Dakka, N., & Bakri, Y. (2020). Essential oils of *Mentha viridis* rich phenolic compounds show important antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective, antidermatophyte and antibacterial properties. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23, 101471. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101471
- Cao, H., Zheng, W., Xu, J., Ou, R., He, S., & Yang, X. (2012). Identification of an isolate of *Saprolegnia ferax* as the causal agent of saprolegniosis of Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) eggs. *Veterinary Research Communications*, 36, 239-244. DOI: 10.1007/s11259-012-9536-8
- Cao, H., Ou, R., He, S., & Yang, X. (2013). Identification of an *Achlya klebsiana* isolate as the causal agent of Saprolegniosis in eggs of yellow catfish (*Pelteobagrus fuvidraco*) and control with herbal extracts. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 65, 1-9.
- Caruana, S., Yoon, G.H., Freeman, M.A., Mackie, J.A., & Shinn, A.P. (2012). The efficacy of selected plant extracts and bioflavonoids in controlling infections of *Saprolegnia australis* (Saprolegniales; Oomycetes). *Aquaculture* 358, 146-154. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.06.035
- Chang, Y.P., Liu, C.H., Wu, C.C., Chiang, C.M., Lian, J.L., & Hsieh, S.L. (2012). Dietary administration of zingerone to enhance growth, non-specific immune response, and resistance to *Vibrio alginolyticus* in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) juveniles. *Fish & Shellfish Immunology*, 32(2), 284-290. DOI: 10.1016/j.fsi.2011.11.017
- Chen, I.N., Chang, C.C., Ng, C.C., Wang, C.Y., Shyu, Y.T., & Chang, T.L. (2008). Antioxidant and antimicrobial activity of Zingiberaceae plants in Taiwan. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63, 15-20. DOI: 10.1007/s11130-007-0063-7
- Dawood, M.A., El Basuini, M.F., Zaineldin, A.I., Yilmaz, S., Hasan, M.T., Ahmadifar, E., El Asely, A.M., Abdel-Latif, H.M. R., Alagawany, M., Abu-Elala, N.M., Doan, H.V., & Sewilam, H. (2021). Antiparasitic and antibacterial functionality of essential oils: An alternative approach for sustainable aquaculture. *Pathogens*, 10(2), 185. DOI: 10.3390/pathogens10020185
- Dhanik, J., Arya, N., & Nand, V. (2017). A review on *Zingiber officinale*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), 174-184.
- Diler, Ö. (1992). *Saprolegniasis hastalığının patogenesisi ve Isparta bölgesi balık işletmelerindeki dağılımı üzerinde bir araştırma*. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya, Türkiye, 118 s.
- Diler, Ö., & Timur, M. (1995). *Saprolegnia* türlerinin Isparta ili balık işletmelerindeki dağılımı. *Turkish Journal of Biology*, 19, 293-305.
- El Gamal, S.A., Adawy, R.S., Zaki, V.H., Abdelkhalek, A., & Zahran, E. (2023). Prevalence and genetic analyses of *Saprolegnia* strains isolated from Nile tilapia farms at northern Egypt. *Aquaculture*, 563, 738946. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738946
- Elameen, A., Stueland, S., Kristensen, R., Fristad, R.F., Vrålstad, T., & Skaar, I. (2021). Genetic analyses of *Saprolegnia* strains isolated from salmonid fish of different geographic origin

- document the connection between pathogenicity and molecular diversity. *Journal of Fungi*, 7(9), 713. DOI: [10.3390/jof7090713](https://doi.org/10.3390/jof7090713)
- Emara, E.K., Gaafar, A.Y., & Shetaia, Y.M. (2020).** In vitro screening for the antifungal activity of some Egyptian plant extracts against the fish pathogen *Saprolegnia parasitica*. *Aquaculture Research*, 51(11), 4461-4470. DOI: [10.1111/are.14791](https://doi.org/10.1111/are.14791)
- Gormez, O., & Diler, O. (2014).** In vitro antifungal activity of essential oils from *Tymbra*, *Origanum*, *Satureja* species and some pure compounds on the fish pathogenic fungus, *Saprolegnia parasitica*. *Aquaculture Research*, 45(7), 1196-1201. DOI: [10.1111/are.12060](https://doi.org/10.1111/are.12060)
- Hardy, T., Erdei, N., Sipos, D., Verebélyi, V., & Eszterbauer, E. (2023).** Experimental exposure of rainbow trout eggs to water mould, *Saprolegnia parasitica* (Oomycota): intraspecific differences in pathogenicity. *Acta Veterinaria Hungarica*, 71(2), 101-111. DOI: [10.1556/004.2023.00931](https://doi.org/10.1556/004.2023.00931)
- Hoskonen, P., Heikkinen, J., Eskelinen, P., & Pirhonen, J. (2015).** Efficacy of clove oil and ethanol against *Saprolegnia* sp. and usability as antifungal agents during incubation of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) eggs. *Aquaculture Research*, 46(3), 581-589. DOI: [10.1111/are.12200](https://doi.org/10.1111/are.12200)
- Huang, X.L., Liu, R.J., Whyte, S., Du, Z.J., Chen, D.F., Deng, Y.Q., Wang, K.Y., & Geng, Y. (2015).** The in vitro antifungal activity of 30 Chinese herb extracts to *Saprolegnia* sp. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(4), 681-686. DOI: [10.1111/jai.12773](https://doi.org/10.1111/jai.12773)
- Hussein, M. M., Wada, S., Hatai, K., & Yamamoto, A. (2000).** Antimycotic activity of eugenol against selected water molds. *Journal of Aquatic Animal Health*, 12(3), 224-229. DOI: [10.1577/1548-8667\(2000\)012%3C0224:AAOEAS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(2000)012%3C0224:AAOEAS%3E2.0.CO;2)
- Johnson, T.W., Seymour, R.L., & Padgett, D.E. (2002).** *Biology and systematics of the Saprolegniaceae*. Wilmington, North Carolina.
- Koca, S.B., & Cevikbas, M. (2015).** Antifungal effect of *Origanum onites* essential oil as an alternative to formalin in the artificial incubation of narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823). *Aquaculture Research*, 46(9), 2204-2210. DOI: [10.1111/are.12374](https://doi.org/10.1111/are.12374)
- Kozubikova-Balcarova, E., Koukol, O., Martin, M.P., Svoboda, J., Petrusek, A., & Dieguez-Uribeondo, J. (2013).** The diversity of oomycetes on crayfish: Morphological vs. molecular identification of cultures obtained while isolating the crayfish plague pathogen. *Fungal Biology*, 117(10), 682-691. DOI: [10.1016/j.funbio.2013.07.005](https://doi.org/10.1016/j.funbio.2013.07.005)
- Kumar, S., Mandal, R.S., Bulone, V., & Srivastava, V. (2020).** Identification of growth inhibitors of the fish pathogen *Saprolegnia parasitica* using in silico subtractive proteomics, computational modeling, and biochemical validation. *Frontiers in Microbiology*, 11, 571093. DOI: [10.3389/fmicb.2020.571093](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.571093)
- Kützing, F.T. (1843).** *Phycologia generalis oder Anatomie, Physiologie und Systemkunde der Tange: Mit 80 farbig gedruckten Tafeln*. Brockhaus.
- Macchioni, F., Perrucci, S., Flamini, G., Cioni, P.L., & Morelli, I. (1999).** Antimycotic activity against *Saprolegnia ferax* of extracts of *Artemisia verlotorum* and *Santolina etrusca*. *Phytotherapy Research*, 13(3), 242-244. DOI: [10.1002/\(SICI\)1099-1573\(199905\)13:3%3C242::AID-PTR422%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199905)13:3%3C242::AID-PTR422%3E3.0.CO;2-3)
- Mansour, A.T., Eldessouki, E.A., Khalil, R.H., Diab, A. M., Selema, T.A.A., Younis, N.A., & Abdel-Razek, N. (2023).** In vitro and in vivo antifungal and immune stimulant activities of oregano and orange peel essential oils on *Fusarium solani* infection in whiteleg shrimp. *Aquaculture International*, 31(4), 1959-1977. DOI: [10.1007/s10499-023-01065-z](https://doi.org/10.1007/s10499-023-01065-z)
- Markovskaja, S., Iršėnaitė, R., Kačergius, A., Sauliūtė, G., & Stankevičiūtė, M. (2024).** Diversity of fungus-like stramenopilous organisms (Oomycota) in Lithuanian freshwater aquaculture: Morphological and molecular analysis, risk to fish health. *Journal of Fish Diseases*, 47(3), e13903. DOI: [10.1111/jfd.13903](https://doi.org/10.1111/jfd.13903)
- Metin, S., Diler, O., Didinen, B. I., Terzioğlu, S., & Gormez, O. (2015).** In vitro and in vivo antifungal activity of *Satureja cuneifolia* ten essential oil on *Saprolegnia parasitica* strains isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) eggs. *Aquaculture Research*, 46(6), 1396-1402. DOI: [10.1111/are.12293](https://doi.org/10.1111/are.12293)
- Mohamed, A.A., & Alotaibi, B.M. (2023).** Essential oils of some medicinal plants and their biological activities: a mini review. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 9(1), 40-49. DOI: [10.1007/s43994-022-00018-1](https://doi.org/10.1007/s43994-022-00018-1)
- Mostafa, A.A.F., Al-Askar, A.A., & Yassin, M.T. (2020).** Anti-saprolegnia potency of some plant extracts against *Saprolegnia diclina*, the causative agent of saprolegniasis. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(6), 1482-1487. DOI: [10.1016/j.sjbs.2020.04.008](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.04.008)
- Özdemir, R.C., Taştan, Y., & Güney, K. (2022).** Prevention of Saprolegniasis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs using oregano (*Origanum onites*) and laurel (*Laurus nobilis*) essential oils. *Journal of Fish Diseases*, 45(1), 51-58. DOI: [10.1111/jfd.13531](https://doi.org/10.1111/jfd.13531)
- Özil, Ö., Diler, Ö., & Nazıroğlu, M. (2022).** Antifungal activity of some essential oil nanoemulsions against Saprolegniasis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs: Antifungal activity of essential oil nanoemulsions. *Aquaculture International*, 30(5), 2201-2212. DOI: [10.1007/s10499-022-00897-5](https://doi.org/10.1007/s10499-022-00897-5)
- Pacheco Marino, S. G., Steciow, M. M., & Barbeito, C. G. (2009).** First report of Saprolegniasis on eggs and a juvenile of "Argentinian silverside" (*Odonthestes bonariensis*). *Bulletin of*

- the European Association of Fish Pathologists, 29(1), 10-15.
- Pacheco Marino, S.G., Steciow, M.M., & Paul, B. (2011). Culture media and temperature influence on growth and sexual reproduction of the fish pathogens *Achlya racemosa* and *Saprolegnia ferax*. *Nova Hedwigia*, 92(1-2), 273-282. DOI: [10.1127/0029-5035/2011/0092-0273](https://doi.org/10.1127/0029-5035/2011/0092-0273)
- Pavić, D., Grbin, D., Hudina, S.P., Zmrzljak, U., Miljanović, A., Košir, R., Varga, F., Čurko, J., Marčić, Z., & Bielen, A. (2022). Tracing theoomycete pathogen *Saprolegnia parasitica* in aquaculture and the environment. *Scientific Reports*, 12(1), 16646. DOI: [10.1038/s41598-022-16553-0](https://doi.org/10.1038/s41598-022-16553-0)
- Pirbalouti, A.G., Taheri, M., Raisee, M., Bahrami, H.R., & Abdizadeh, R. (2009). In vitro antifungal activity of plant extracts on *Saprolegnia parasitica* from cutaneous lesions of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7, 94-6.
- Pirbalouti, A.G., Jahanbazi, P., Enteshari, S., Malekpoor, F., & Hamed, B. (2010). Antimicrobial activity of some Iranian medicinal plants. *Archives of Biological Sciences*, 62(3), 633-642. DOI: [10.2298/ABS1003633G](https://doi.org/10.2298/ABS1003633G)
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50-61. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2014.05.048](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048)
- Romansic, J.M., Diez, K.A., Higashi, E.M., Johnson, J.E., & Blaustein, A.R. (2009). Effects of the pathogenic water mold *Saprolegnia ferax* on survival of amphibian larvae. *Diseases of Aquatic Organisms*, 83(3), 187-193. DOI: [10.3354/dao02007](https://doi.org/10.3354/dao02007)
- Saddiqe, Z., Naeem, I., & Maimoona, A. (2010). A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 131(3), 511-521. DOI: [10.1016/j.jep.2010.07.034](https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.07.034)
- Sakaguchi, S.O., Ogawa, G., Kasai, H., Shimizu, Y., Kitazato, H., Fujikura, K., & Takishita, K. (2019). Molecular identification of water molds (oomycetes) associated with chum salmon eggs from hatcheries in Japan and possible sources of their infection. *Aquaculture International*, 27, 1739-1749. DOI: [10.1007/s10499-019-00427-w](https://doi.org/10.1007/s10499-019-00427-w)
- Sandoval-Sierra, J.V., Latif-Eugenin, F., Martín, M.P., Zaror, L., & Dieguez-Urbeondo, J. (2014). *Saprolegnia* species affecting the salmonid aquaculture in Chile and their associations with fish developmental stage. *Aquaculture*, 434, 462-469. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2014.09.005](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.005)
- Stueland, S., Hatai, K., & Skaar, I. (2005). Morphological and physiological characteristics of *Saprolegnia* spp. strains pathogenic to Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 28(8), 445-453. DOI: [10.1111/j.1365-2761.2005.00635.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2005.00635.x)
- Tampieri, M.P., Galuppi, R., Carelle, M.S., Macchioni, F., Cioni, P.L., & Morelli, I. (2003). Effect of selected essential oils and pure compounds on *Saprolegnia parasitica*. *Pharmaceutical Biology*, 41(8), 584-591. DOI: [10.1080/13880200390501839](https://doi.org/10.1080/13880200390501839)
- Tedesco, P., Fioravanti, M.L., & Galuppi, R. (2019). In vitro activity of chemicals and commercial products against *Saprolegnia parasitica* and *Saprolegnia delica* strains. *Journal of Fish Diseases*, 42(2), 237-248. DOI: [10.1111/jfd.12923](https://doi.org/10.1111/jfd.12923)
- Tedesco, P., Saraiva, M., Sandoval-Sierra, J.V., Fioravanti, M.L., Morandi, B., Dieguez-Urbeondo, J., van West, P., & Galuppi, R. (2021). Evaluation of potential transfer of the pathogen *Saprolegnia parasitica* between farmed salmonids and wild fish. *Pathogens*, 10(8), 926. DOI: [10.1111/jfd.12923](https://doi.org/10.1111/jfd.12923)
- Vega-Ramírez, M. T., Moreno-Lafont, M. C., Valenzuela, R., Cervantes-Olivares, R., Allergancedo, J. M., Fregeneda-Grandes, J. M., Damas-Aguilar, J. L., García-Flores, V., & López-Santiago, R. (2013). New records of Saprolegniaceae isolated from rainbow trout, from their eggs, and water in a fish farm from the State of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(2), 637-649. DOI: [10.7550/rmb.28627](https://doi.org/10.7550/rmb.28627)
- Xue-Gang, H., Lei, L., Cheng, C., Kun, H., Xian-Le, Y., & Gao-Xue, W. (2013). In vitro screening of Chinese medicinal plants for antifungal activity against *Saprolegnia* sp. and *Achlya klebsiana*. *North American Journal of Aquaculture*, 75(4), 468-473. DOI: [10.1080/15222055.2013.808298](https://doi.org/10.1080/15222055.2013.808298)



Akçakoca Deniz Balıkçılığının Sosyo-Ekonomik Göstergeleri^[*]

Yılmaz Asutay TURAN^{1*}

Ahmet Şeref KORKMAZ²

¹Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi: 30.04.2025

Kabul Tarihi: 24.06.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atf yapmak için: Turan, Y.A., & Korkmaz, A.Ş. (2025). Akçakoca Deniz Balıkçılığının Sosyo-Ekonomik Göstergeleri. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(4), 401-407. <https://doi.org/10.35229/jaes.1678226>

How to cite: Turan, Y.A., & Korkmaz, A.Ş. (2025). Socio-economic Indicators of Akcakoca Marine Fisheries. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(4), 401-407. <https://doi.org/10.35229/jaes.1678226>

*ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4418-0846>

ID: <https://orcid.org/0000-0003-0447-8290>

*Sorumlu yazar:

Yılmaz Asutay TURAN
Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su
Ürünleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
✉: asutayturan@gmail.com

Öz: Bu çalışma, Düzce İli Akçakoca İlçesi'nde 2016-2017 av sezonuna ait deniz balıkçılığına ilişkin sosyo-ekonomik göstergelerin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Balıkçı gemileri balıkçılık tipine göre kıyı balıkçı gemileri (n=49 adet), trol (n=9 adet) ve gırgır (n=1 adet) olmak üzere gruplandırılmıştır. Balıkçılıkla ilgili teknik, ekonomik, sosyal ve pazar verileri balıkçı gemilerinin sahipleri veya işletenleri ile yüz yüze görüşme tekniği uygulanarak anket formlarının doldurulmasıyla toplanmıştır. Elde edilen veriler analiz edildiğinde; Akçakoca'daki deniz balıkçılığında teknik göstergeler bakımından trol gemisinin, ekonomik, sosyal ve pazar göstergeleri bakımından ise gırgır gemisinin en iyi performansı gösterdiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akçakoca (Düzce/Türkiye), gırgır gemileri, kıyı balıkçı gemileri, trol gemileri, yerel sosyo-ekonomik göstergeler.

Socio-economic Indicators of Akcakoca Marine Fisheries

*Corresponding author's:

Yılmaz Asutay TURAN
Ministry of Agriculture and Forestry, General
Directorate of Fisheries and Aquaculture,
Ankara, Türkiye
✉: asutayturan@gmail.com

Abstract: This study was carried out to determine the socio-economic indicators of marine fisheries in the province of Düzce/Akçakoca in the 2016-2017 fishing season. Fishing vessels were grouped according to fishery type as coastal fishing vessels (49 vessels), trawlers (9 vessels) and purse-seiners (1 vessel). Technical, economic, social and market data related with fishing were collected by filling of questionnaire forms using face to face technique with vessel's owner or operator. When the obtained data was analyzed, it was determined that the trawler showed the best performance in terms of technical indicators, and the purse seine vessel showed the best performance in terms of economic, social and market indicators in marine fisheries in Akçakoca.

Keywords: Akçakoca (Düzce/Türkiye), coastal fishing vessels, purse-seiners, socio-economic indicators, trawlers.

GİRİŞ

Gıda üretimi sağlayan, aynı zamanda ekonomik gelir ve istihdam oluşturan bir faaliyet olan balıkçılık; biyoloji, ekoloji, ekonomi ve sosyoloji disiplinlerinin birbiriyle etkileşim içinde olduğu karmaşık bir sistemdir. Balıkçılık sektörünün başarısı, yalnızca avcılığın etkinliğine ve pazarlamaya değil aynı zamanda su ürünleri stoklarının özelliklerine de bağlıdır. Bu sektörün yönetimi ve korunması amacıyla elde edilen sosyo-ekonomik veriler; hem balıkçılık faaliyetlerinin ekonomik getirisini artırmak hem de geçimini balıkçılıkla sağlayanların yaşam standartlarını iyileştirmek amacıyla stokları sürdürülebilir

düzeyde koruyacak politikalar geliştirmek için önemli bir temel oluşturmaktadır (Pinello, 2017).

Deniz balıkçılığına yönelik yönetim politikalarının başarılı olabilmesi için hem deniz balıkçılığının hem de balıkçıların sosyo-ekonomik yapısının bilinmesi gerekmektedir. Ancak; Türkiye'de balıkçıların sosyo-ekonomik durumunu yansıtan araştırmalar oldukça sınırlıdır. Balıkçılığın ve balıkçıların mevcut durumu ortaya konmadan geliştirilen yönetsel politikaların başarılı olması ve belirlenen hedefe ulaşması mümkün değildir. Zira her yönetim uygulaması balıkçılık sektörü ve balıkçılar üzerinde farklı etkiye sahiptir. Bu nedenle, uygulanacak yönetim politikalarının uygunluğunu

[*] Bu makale, Yılmaz A., Turan 'nın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

This manuscript was produced from Yılmaz A., Turan's master thesis.

veya yeterliliğini değerlendirebilmek için her yeni yönetsel politikanın öncesinde ve sonrasında balıkçılık faaliyetlerinin ve balıkçıların sosyo-ekonomik durumunun tespit edilmesi gereklidir (Çeliker vd., 2006).

Balıkçılık yönetimi yetkilileri balıkçılık kaynaklarını koruma amacı doğrultusunda av miktarının kontrolünden ziyade av çabasının kontrolüne yönelik kararlara ağırlık vermişlerdir. Bu kapsamda alınan kararlar sadece balıkçıyı ve balıkçı gemisini esas almaktadır. Ancak; sürdürülebilir balıkçılığın sağlanabilmesi için balıkçılık yönetiminde biyolojik göstergelerle birlikte sosyo-ekonomik göstergelerin de dikkate alınması gerektiği noktasında balıkçılık yönetimi yetkililerince görüş birliğine varılmıştır. (Sabatella & Franquesa, 2004).

Sosyo-ekonomik göstergeler, balıkçılık politikalarının performansını değerlendirmeye yardımcı olur. Böylece, balıkçılık faaliyetleri ve kaynakların zamana bağlı değişimlerinin daha net bir şekilde tahmin edilmesi ve karşılaştırma yapılması mümkün olur (Anonymous, 1999).

Sosyo-ekonomik göstergeler, her ülkenin kendi balıkçılık sektörünün sosyal ve ekonomik durumunun analiz edilebilmesi ve anlaşılabilmesi için temel bilgi kaynağını oluşturur. Bu temel bilgi de esasen üretimde, fiyatlarda, giderlerde, ekonomik verimde, istihdamda, teknolojiye, balıkçılık kaynaklarında, avlanma sahalarında ve filoların balıkçılık faaliyetlerinde oluşan değişikliklerin sosyo-ekonomik göstergelerde yarattığı etkileri analiz etmede kullanılabilir (Franquesa vd., 2001).

Bu araştırma, 35 km'lik sahil şeridiyle Karadeniz'in önemli bir balıkçılık merkezi ve balıkçılık gözlem noktası olan (Yağlıoğlu, 2013) Akçakoca (Düzce) ilçesinde, deniz balıkçılığının yerel sosyo-ekonomik göstergelerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Araştırma, Karadeniz'in batısında yer alan ve Karadeniz'e kıyısı olan Akçakoca'da Akçakoca Balıkçı Barınağı ve Melenagzı Barınma Yeri'nde yürütülmüştür. Akçakoca İlçesindeki 59 adet balıkçı gemisi balıkçılık tipine göre; kıyı balıkçı gemileri (49 adet), trol gemileri (9 adet) ve gırgır gemileri (1 adet) olmak üzere üç gruba ayrılarak (Ferraris, 2002) tam sayım yöntemi (Yamane, 2001) uygulanmıştır.

Akçakoca deniz balıkçılığının 2016-2017 av mevsimindeki sosyo-ekonomik göstergelerinin belirlenmesi amacıyla balıkçı gemilerinin fiziksel ve teknik özellikleri, balıkçıların gelir-gider yapısı, istihdam durumu ile balıkçıların sosyal ve ekonomik durumlarına ilişkin veriler 2017 yılı Ağustos-Eylül döneminde gemi sahipleri veya işletenleri ile yüz yüze görüşme yapılarak anket formlarının doldurulması yoluyla toplanmıştır (Franquesa vd., 2001; Sabatella & Franquesa 2004).

Balıkçı gemilerinin avlanma giderleri; değişen işletme giderleri (akaryakıt ve yağ, işçilik giderleri, buz, kasa, bakım-onarım, elektrik, su, taşıma, komisyon, vergi, rüsum ve harçlar) ve sabit işletme giderleri (amortisman, balıkçının ve gemide çalışan çocuklarıyla eşinin ücret karşılıkları, gemi ile ağların bakım onarımı, yıllık sigorta ve vergi, barınak ve ruhsat yenileme ücreti, kooperatif aidatı, telefon ile su, elektrik, vb. giderler) olmak üzere iki grupta incelenmiştir.

Akaryakıt giderlerinin hesaplanmasında, Özel Tüketim Vergisinden muaf (ÖTV'siz) mazot fiyatı 2.00-2,60 TL/L, ÖTV'li mazot fiyatı ise 3,25-4,80 TL/L olarak alınmıştır. İşçilik giderleri; tayfalara, diğer balıkçılara ödenen ücretler ve yapılan aynı harcamaların (yiyecek, iş elbisesi, çizme vb.) toplamı olarak hesaplanmıştır.

Tayfa ücretleri aylık veya av payı şeklinde ödenebilmektedir. Tayfaların ücretleri hesaplanırken geminin sahibi de tayfa olarak değerlendirilmiş, ücretler av payı üzerinden hesaplanmıştır (De Stefano vd., 2006). Balıkçı gemilerindeki av payı balıkçılık tipine göre farklı olabildiğinden, av payının hesaplanmasında balıkçıların beyanları esas alınmıştır. Amortisman tabi demirbaşların (gemi, av araçları ve elektronik ekipmanlar) amortisman giderleri hesaplanırken; geminin tamamlayıcısı olan motor, ırgat ve kapı gibi demirbaşların ekonomik ömürleri geminin ekonomik ömrüne yakın olduğundan gemiyle birlikte değerlendirilmiştir. Elektronik cihazların ve ağların ekonomik ömürleri, gemilerin ekonomik ömründen kısa olduğundan amortisman değerleri ayrı hesaplanmıştır. Sermayenin fırsat maliyeti, resmi bankaların ortalama reel faiz haddi (%4,50) esas alınarak hesaplanmıştır.

Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin yerel sosyo-ekonomik göstergeleri, Anonymous (1999 & 2001), Franquesa vd., (2001) ve Sabatella & Franquesa (2004) tarafından bildirilen kurallara göre hesaplanmıştır.

Balıkçı gemilerinin teknik ve fiziksel özellikleri, balıkçıların sosyo-ekonomik özellikleri ve balıkçılık faaliyetinin mali ve ekonomik göstergelerinin belirlenmesinde elde edilen parametrelerin karşılaştırılması ve kontrolünde Düzgüneş vd., (1983) ve Yamane (2001) tarafından bildirilen istatistikî yöntemler kullanılmıştır. Karşılaştırma ve kontrollerde önem düzeyi P: 0,05 alınmıştır.

Yerel Sosyo-Ekonomik Göstergeler

Teknik Göstergeler:

“VFP (Geminin Fiziksel Verimliliği): Gemilerin ortalama avı (kg/gemi).”

“PFP (Gücün Fiziksel Verimliliği): Gemi birim motor gücüne düşen av (kg/HP).”

“CFP (Kapasitenin Fiziksel Verimliliği): Gemi birim kapasitesine düşen av (kg/GRT).”

“MFP (İnsanın Fiziksel Verimliliği): Gemide istihdam edilen (tayfa sayısına kaptan ve varsa gemide çalışan çocuklar ve eş dahil) insana düşen av (kg/kişi).”

“HFP (Av Saatinin Fiziksel Verimliliği): Geminin av saatine düşen av (kg/saat, burada kg/gün).”

Ekonomik Göstergeler:

“PV (Gemi Verimliliği): Her geminin karaya çıkardığı avın ilk satış değeri (TL/gemi).”

“PP (Güç Verimliliği): Geminin birim gücüne düşen avın ilk satış değeri (TL/HP).”

“PGT (Kapasite Verimliliği): Geminin birim kapasitesine düşen avın ilk satış değeri (TL/GRT).”

“MP (İnsan Verimliliği): Gemide istihdam edilen insana düşen avın değeri (TL/kişi).”

“PVH (Av Saatinin Verimliliği): Burada avlama gününe düşen avın değeri (TL/gün).”

“IC (Yatırım Sermayesi): Avlama faaliyetine yatırılan gemilerin sermayesi (TL).”

“OP (Fırsat Maliyeti): Gemi sahibinin avlama faaliyeti yerine parasını başka bir işe yönlendirmesi (örneğin; bir bankaya faize) durumunda kazanacağı miktar (TL).”

“GEP (Brüt Fayda=Brüt Nakit Akış): Fırsat maliyeti dahil diğer bütün balıkçılık giderleri düşüldükten sonra gemi sahibinin kazancı (TL).”

“NEP (Net Fayda=Net Nakit Akış): Brüt faydadan amortisman gideri düşüldükten sonra gemi sahibinin kazancı (TL).”

“PR (Kâr Oranı): Fırsat maliyeti eklenmiş yıllık net faydanın yatırım sermayesine yüzde oranı [$\{(\text{Net Fayda} + \text{Fırsat Maliyeti}) / \text{Yatırım Tutarı}\} * 100$].”

“GAV (Brüt Katma Değer): Av filusunun incelenen bölümünün ulusal ekonomiye sağladığı katkı (=ücretler + kâr + fırsat maliyeti + amortisman) (TL).”

Sosyal Göstergeler:

“SC (Ücret Gideri): Balıkçıların geliri (TL).”

“AW (Ortalama Ücret): Gemide istihdam edilen personele ödenen ortalama ücreti (TL).”

Pazar Göstergeleri:

“LP (Karaya Çıkarılan Avın Fiyatı): Karaya çıkarılan ürünün ortalama birim fiyatı (TL/kg).”

BULGULAR

Balıkçı Filusunun Teknik ve Fiziksel Özellikleri:

Akçakoca'daki balıkçı filusunun %83,05'ini kıyı balıkçı gemileri (<12 m), %16,95'ini ise trol ve gırgır gemileri (>12 m) oluşturmaktadır. Tam boyu (22 m), motor gücü (750 BG), tonajı (107 GRT), toplam av miktarı (691.790 kg), avlanan tür sayısı (8 adet) ve mazot tüketimi (46 ton) en fazla olan balıkçı gemilerinin trol, yaşı en küçük (0 yıl) ve avlanma günü (270 gün) en fazla olan balıkçı gemilerinin kıyı balıkçı gemileri ve toplam istihdamın en

yüksek (10 tayfa) olduğu balıkçı gemisinin ise gırgır gemisi olduğu saptanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin teknik ve fiziksel özellikleri.
Table 1. Technical and physical characteristics of fishing vessels in Akçakoca.

Gemilerin Teknik ve Fiziksel Özellikleri	Kıyı Balıkçı Gemileri	Trol Gemileri	Gırgır Gemisi
Gemi Boyu (m)	7,76±0,22 (5,50-11,15)	16,71±1,18 (12,18-22,00)	14,80
Motor Gücü (HP)	84,60±9,63 (6,00-350,00)	389,44±58,29 (185,00-750,00)	420,00
Tonajı (GRT)	3,66±0,42 (0,85-11,88)	55,48±11,51 (9,65-107,00)	29,79
Toplam Av Mik. (kg)	13.984,08±2.826,07 (200,00-115.000,00)	314.716,44±82.842,72 (22.820,00-691.790,00)	57.400,00
Avlanan Tür Sayısı	2,12±0,19 (1,00-7,00)	5,22±0,70 (3,00-8,00)	7,00
Mazot Tüketimi (L)	2.449,28±453,68 (25,00-16.000,00)	25.611,11±4.521,38 (7.500,00-46.000,00)	40.000,00
Gemi Yaşı (Yıl)	19,49±1,94 (0,00-68,00)	12,22±3,51 (1,00-30,00)	2,00
Avlanma Günü (gün)	77,33±8,85 (3,00-270,00)	140,44±16,52 (60,00-210,00)	195,00
Toplam İstihdam (tayfa)	1,20±0,14 (0,00-3,00)	3,67±0,29 (2,00-5,00)	10,00

Balıkçı Gemilerinin Gider Yapısı:

Akçakoca'daki kıyı, trol ve gırgır gemilerinin toplam giderleri (sırasıyla 17.853,74±3.221,67 TL, 63.033,75±20.553,02 TL ve 171.026,41±43.042,99 TL) içerisinde en yüksek oranı tayfa ve işçilik gideri (%42,72) oluşturmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin gider dağılımı (%).

Gider Kalemleri	Kıyı Balıkçı Gemileri	Trol Gemileri	Gırgır Gemisi
Akaryakıt	37,74±3,79 (8,66-100,00)	37,58±4,43 (20,21-55,01)	42,48
Yiyecek	13,55±1,79 (0,00-50,00)	4,83±1,03 (0,00-10,90)	6,64
Giysi	3,11±1,00 (0,00-45,45)	1,28±0,30 (0,55-3,27)	1,77
Buz	0,41±0,24 (0,00-10,09)	2,04±0,58 (0,00-5,45)	0,00
Kasa/Strafor	2,47±0,66 (0,00-25,23)	2,76±0,58 (0,00-4,68)	0,00
Tayfa/İşçilik	42,72±4,13 (0,00-85,21)	51,51±5,47 (28,66-75,15)	49,11
Toplam	100,00	100,00	100,00

Balıkçı Gemilerinin Yerel Sosyo-Ekonomik Göstergeleri:

Teknik Göstergeler: Akçakoca'daki deniz balıkçılığında teknik göstergeler (VFP: 314.716,44 kg/gemi, PFP: 772,86 kg/HP, MFP: 84.137,49 kg/kişi, HFP: 2.746,99 kg/gün ve CFP: ve 5.465,28 kg/GRT) bakımından en iyi performansı trol gemileri sergilemiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin teknik göstergeleri.

Teknik Göstergeler	Kıyı Balıkçı Gemileri	Trol Gemileri	Gırgır Gemisi
VFP	13.984,08±2.826,07 (200,00-115.000,00)	314.716,44±82.842,72 (22.820,00-691.790,00)	57.400,00
PFP	222,54±48,63 (7,14-2.100,00)	772,86±193,97 (103,73-1.740,00)	136,67
CFP	4.538,54±723,54 (140,84-21.103,77)	5.465,28±1.135,46 (1.019,66-11.962,50)	1.926,82
MFP	6.871,41±1.185,28 (0,00-38.333,33)	84.137,49±21.914,30 (7.606,67-172.947,50)	5.740,00
HFP	197,23±33,49 (5,61-1.508,33)	2.746,99±806,75 (108,67-6.380,00)	294,36

Akçakoca'daki balıkçı gemileri arasında teknik göstergelerden VFP, PFP, MFP ve HFP bakımından gözlenen farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunurken

(sırasıyla $t = -8,628$, $p < 0,05$; $t = -3,948$, $p < 0,05$; $t = -8,192$, $p < 0,05$ ve $t = -7,478$, $p < 0,05$), CFP bakımından gözlenen farklılıklar önemsiz ($t = -0,526$, $p > 0,05$) bulunmuştur. Akçakoca trol gemilerinin VFP, PFP, CFP, MFP ve HFP değerleri Rad ve Delioğlu (2006) tarafından Taşucu trolleri için saptanan değerlerden (sırasıyla 34.109,20 kg/gemi, 93,66 kg/HP, 1.749,19 kg/GRT, 8.527,30 kg/kişi ve 182,40 kg/gün) ve Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop trolleri için saptanan değerlerden (sırasıyla 35.056,00 kg/gemi, 124,03 kg/HP, 1.943,26 kg/GRT, 6.238,75 kg/kişi ve 165,83 kg/gün) yüksektir. Sumaila vd. (2001) Norveç trol gemilerinde VFP değerini 220.950 kg/gemi olarak saptamışlardır. Adriatik Denizi demersal balıkçılığında Accadia ve Spagnolo (2006) HFP değerini 240 kg/gün, MFP değerini 11.670 kg/kişi olarak bildirmişlerdir. Teknik göstergeler bakımından farklı bölgelerde gözlenen bu farklılıklar; gemilerin boyu, av miktarı, motor gücü ve tonaj değerlerinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Akçakoca'daki gırgır gemisi için 57.400,00 kg/gemi olarak saptanan VFP değeri, Gasalla vd. (2010) tarafından Güneydoğu Brezilya'da gırgır gemileri için rapor edilen 41.000 kg/gemi ve Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop gırgır gemisi için saptanan 3.973,910 kg/gemi değerinden yüksektir. Teknik göstergeler av miktarıyla doğru orantılı olduğundan, gözlenen farklılıkların Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin yüksek av miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ekonomik Göstergeler: Ekonomik göstergelerden PV, PVH, IC, OP, GEP, NEP ve GAV bakımından gırgır gemisi; PP, PGT ve PR bakımından kıyı balıkçı gemileri ve MP bakımından ise trol gemileri en yüksek performansı sergilemişlerdir (Tablo 4).

Tablo 4. Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin ekonomik göstergeleri
Table 4. Economic indicators of fishing vessels in Akçakoca

Ekonomik Göstergeler	Kıyı Balıkçı Gemileri	Trol Gemileri	Gırgır Gemisi
PV	56.194,39±8.784,47 (1.000,00-270.000,00)	284.401,39±47.271,25 (149.985,00-610.010,00)	420.190,00
PP	1.060,61±232,28 (35,71-10.600,00)	791,53±129,28 (461,25-1.694,47)	1.000,45
PGT	19.370,57±2.802,69 (704,22-86.320,75)	8.742,58±3.142,99 (3.082,74-29.048,09)	14.105,07
MP	28.791,58±4.389,89 (0,00-118.000,00)	79.635,67±12.069,40 (37.496,25-152.502,50)	42.019,00
PVH	833,13±128,09 (90,91-6.033,33)	2.128,31±271,26 (723,81-3.388,94)	2.154,82
IC	88.160,20±8.800,57 (8.000,00-272.800,00)	829.777,78±159.215,81 (260.000,00-1.720.000,00)	916.250,00
OP	3.491,14±348,50 (316,80-10.802,88)	32.859,20±6.304,95 (10.296,00-68.112,00)	36.283,50
GEP	24.594,32±5.532,54 [(-9.495,84)-(143.659,62)]	76.471,69±24.984,99 [(-6.253,98)-(252.497,60)]	107.428,32
NEP	17.626,60±5.180,85 [(-22.229,17)-(122.170,54)]	37.392,06±26.913,32 [(-58.020,65)-(224.880,93)]	71.736,65
PR	24,32±0,06 [(-1,19)-(243,51)]	11,78±0,04 [(-1,19)-(35,90)]	11,79
GAV	42.506,20±7.850,66 [(-2.310,00)-(241.700,00)]	189.508,61±42.659,04 (83.100,00-481.380,00)	254.690,00

*Reel faiz haddi %4,50 olarak alınmıştır.

Tablo 4'te balıkçılık tipine göre ekonomik göstergeler arasında gözlenen farklılıklar istatistiki olarak; PV, MP, PVH, IC, OP, GEP ve GAV bakımından önemli (sırasıyla $t = -8,048$, $p < 0,05$; $t = -4,441$, $p < 0,05$; $t = -3,769$,

$p < 0,05$; $t = -10,801$, $p < 0,05$; $t = -10,801$, $p < 0,05$; $t = -3,130$, $p < 0,05$ ve $t = -5,774$, $p < 0,05$), PP, PGT, PR ve NEP bakımından ise önemsiz (sırasıyla $t = 0,491$, $p > 0,05$; $t = 1,583$, $p > 0,05$; $t = 0,407$, $p > 0,05$ ve $t = -1,201$, $p > 0,05$) bulunmuştur. Akçakoca kıyı balıkçı gemilerinin IC değeri (88.160,20 TL) Mutlu vd. (2018) tarafından Giresun kıyı balıkçı gemileri için belirlenmiş değerden (33.055 TL) yüksek; gırgır gemisinin IC değeri (916.250,00 TL) ise Giresun gırgır gemileri için belirlenmiş (2.177.500 TL) değerden düşüktür. Kıyı balıkçı gemileri arasında gözlenen bu farklılığın Akçakoca'da faaliyet gösteren balıkçı gemilerinin IC değerlerinin hesaplanmasında av araç gereci ve gemi sermayesinin birlikte değerlendirilmesinden, gırgır gemileri arasında gözlenen farklılığın ise Giresun gırgır gemilerinin daha büyük boy uzunluğuna ve buna bağlı olarak avlama kapasitesinin fazla olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Akçakoca trol gemilerinin PP (791,53 TL/HP), MP (79.635,67 TL/kişi), PVH (2.128,31 TL/gün), OP (32.859,20 TL) ve IC (829.777,78 TL) değerleri, Rad ve Delioğlu (2006) tarafından Taşucu trollerinde saptanan değerlerden (sırasıyla 578,34 TL/HP; 5.653,60 TL/kişi; 1.126,28 TL/gün; 27.273,30 TL ve 181.822,00 TL) yüksektir. Bu farklılıklar; Akçakoca'daki trol gemilerinin motorlarının yeni, motor güçlerinin büyük ve av miktarlarının fazla olmasından kaynaklanmıştır. Akçakoca'daki trol gemilerinin PR değeri (%11,78); Korkmaz ve Coşkun'un (2016) Sinop trolleri için bildirdiği değerden (%4,18) yüksek, Foça trolleri için Ünal (2002) tarafından bildirilen değerden (%7,50-116,4) ve Taşucu trolleri için Rad ve Delioğlu (2008) tarafından bildirilen değerden (%36,1) düşüktür. Bu farklılıklara Foça ve Taşucu trolleri tarafından avlanan türlerin çeşitliliğinin fazla ve birim fiyatlarının yüksek olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Akçakoca gırgır gemisinin PR (%11,79), PP (1.000,45 TL/HP) ve PGT (14.105,07 TL/GRT) değerleri Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop gırgır gemisi için saptanan değerlerden (sırasıyla %7,11, 1.079,16 TL/HP ve PGT 4.576,79 TL/GRT) yüksektir. Bu farklılıkların Akçakoca'daki gırgır gemisinin birim kapasitesine düşen av miktarının ve avın satış değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır. Akçakoca balıkçı gemilerinin yatırım sermayeleri göz önüne alındığında, kâr oranı (PR) bakımından en iyi performansı gösteren gemilerin kıyı balıkçı gemileri olduğunu söylemek mümkündür.

Akçakoca'daki gırgır gemisinin GEP değeri (107.428,32 TL) Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop'taki gırgır gemisi için saptanan değerden (173.907,95 TL) düşüktür. Bu farklılık, Sinop'taki gırgır gemisinin boyca büyük (47 m) ve av miktarının yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Akçakoca'daki gırgır

gemisinin NEP değeri (71.736,65 TL), Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop'taki gırgır gemisi için bildirilen değerden (51.092,45 TL) yüksektir. Bu farklılığa; Akçakoca'daki gırgır gemisi tarafından avlanan türlerin ticari değerinin yüksek ve Sinop'taki gırgır gemisinin giderlerinin fazla olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Akçakoca'daki gırgır gemisinin GAV değeri (254.690,00 TL), Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop'taki gırgır gemisi için bildirilen değerden (1.145.587,05 TL) düşüktür. Bu farklılığın Sinop'taki gırgır gemisinin boyunun ve buna bağlı olarak yatırım sermayesinin fırsat maliyetinin ve amortismanının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Akçakoca balıkçı gemilerinin yatırım sermayeleri göz önüne alındığında, ortalama PR (24,32) bakımından en iyi performansı kıyı balıkçı gemilerinin gösterdiğini söylemek mümkündür.

Sosyal Göstergeler: Akçakoca deniz balıkçılığında SC bakımından en yüksek değer (110.978,18 TL) gırgır gemisi, en düşük değer (12.396,65 TL) ise kıyı balıkçı gemileri için saptanmıştır. AW bakımından yine en yüksek değer (22.390,34 TL) trol gemileri, en düşük değer (7.091,82 TL) kıyı balıkçı gemileri için saptanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin sosyal göstergeleri.

Table 5. Social indicators of fishing vessels in Akçakoca.

Sosyal Göstergeler	Kıyı Balıkçı Gemileri	Trol Gemileri	Gırgır Gemisi
SC (TL)	12.396,65±2.712,59 (0,00-95.062,50)	80.177,72±17.828,02 (34.266,56-201.004,00)	110.978,18
AW (TL)	7.091,82±1.135,46 (0,00-31.687,50)	22.390,34±4.481,83 (8.566,64-50.251,00)	11.097,82

Akçakoca'daki kıyı balıkçıları ile trol balıkçıları arasında sosyal göstergeler (SC ve AW) bakımından gözlenen farklılıklar önemli (sırasıyla $t=-6,977$, $p<0,05$ ve $t=-4,717$, $p<0,05$) bulunmuştur. Akçakoca balıkçı gemilerinde en yüksek tayfa istihdamı (10 tayfa/gemi) gırgır gemisi, en düşük ortalama tayfa istihdamı ise kıyı balıkçı gemileri (1,20 tayfa/gemi) için saptanmıştır. Gırgır gemisinde istihdam edilen tayfa sayısı, Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop'taki gırgır gemisi için bildirilen değerden (25 tayfa) düşüktür. Trol gemilerinde istihdam edilen tayfa sayısı (3,67 tayfa/gemi), Ünal (2004) tarafından Foça trolleri, Rad ve Delioğlu (2008) tarafından Taşucu trolleri ve Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop trolleri için saptanan değere (4,00 tayfa/gemi) benzerdir. Akçakoca, turizm ve sanayi açısından yeterince gelişmediğinden, bölge insanına istihdam sağlayamamaktadır. Bu nedenle, balıkçı gemilerinde tayfa olarak çalışma önem kazanmıştır.

Akçakoca kıyı balıkçı gemilerinin SC değeri (12.396,65 TL) Mutlu vd. (2018) tarafından Giresun kıyı balıkçı gemileri için belirlenmiş değer (12.317 TL) ile benzerlik göstermektedir. Bu durumun kıyı balıkçı gemilerinin benzer sayıda tayfa istihdam etmesinden ve

benzer avlama kapasitesine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Akçakoca gırgır gemisinin SC değeri ise (110.978,18 TL) Mutlu vd. (2018) tarafından Giresun gırgır gemileri için bildirilen SC (20.896.666 TL) değeri ile karşılaştırıldığında düşüktür. Bu durumun; Giresun' da gırgır gemilerinin sayıca fazla olmasından ve boy uzunlukları ile avlama kapasitelerinin fazlalığından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Akçakoca trol gemilerinin SC ve AW değerleri, Taşucu trol gemileri için Rad ve Delioğlu (2006) tarafından saptanan değerlerden (sırasıyla 11.516,68 TL ve 2.879,17 TL) ve Sinop trol gemileri için Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından saptanan değerlerden (sırasıyla 36.259,58 TL ve 5.983,56TL) yüksektir. Bu durum, av miktarının fazla olmasından kaynaklanmıştır.

Akçakoca gırgır gemisinin SC ve AW değerleri, Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop'taki gırgır gemisi için saptanan değerlerden (sırasıyla 848.863,60 TL/gemi ve 25.883,84 TL/kışı) düşüktür. Bu farklılık, Sinop'taki gırgır gemisinin boyca büyük ve kapasitesinin fazla olmasından kaynaklanmıştır.

Pazar göstergeleri: Akçakoca'daki balıkçı gemileri tarafından karaya çıkarılan avın birim fiyatının en yüksek olduğu geminin gırgır, en düşük olduğu gemilerin ise trol gemileri olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Akçakoca'daki balıkçı gemilerinin pazar göstergeleri.

Table 6. Market indicators of fishing vessels in Akçakoca.

Pazar Göstergeleri	Kıyı Balıkçı Gemileri	Trol Gemileri	Gırgır Gemisi
LP (TL)	5,44±0,42 (1,45-20,20)	2,93±1,35 (0,35-12,26)	7,32

Tablo 6'da balıkçılık tipine göre pazar göstergesi (LP) bakımından kıyı ve trol gemileri arasındaki farklılıkların istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($t= -2,223$, $p<0,05$). Akçakoca'daki trol gemilerinin LP değeri (2,93 TL/kg); Rad ve Delioğlu (2006) tarafından Taşucu trolleri, Accadia ve Spagnolo (2006) tarafından Adriatik trolleri ve Korkmaz ve Coşkun (2016) tarafından Sinop trolleri için saptanan değerlerden (sırasıyla 6,17 TL/kg, 5,57 €/kg ve 3,81 TL/kg) düşüktür. Bu farklılığın Akçakoca trol gemilerinin avladığı su ürünlerinin ekonomik değerinin düşük olmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Akçakoca'daki gırgır gemisinin LP değeri, Korkmaz ve Coşkun'un (2016) Sinop gırgır gemisi için bildirdiği (0,67 TL) değerden büyüktür. Sinop gırgır gemisi yüksek miktarda av yaptığı ve avın büyük bir kısmını balık unu/balık yağı fabrikalarına verdiği için birim satış fiyatı düşüktür.

SONUÇ

Türkiye'de, balıkçılık kaynakları üzerindeki aşırı av baskısını azaltarak bu kaynakların sürdürülebilirliğini

sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Ancak balıkçılık yönetiminde etkili ve sonuç odaklı kararlar alınabilmesi, yalnızca biyolojik verilerle değil, aynı zamanda balıkçıların sosyo-ekonomik yapısının da ayrıntılı bir şekilde bilinmesiyle mümkün olabilmektedir. Çünkü balıkçılar, balıkçılık yönetimi tarafından uygulamaya alınan düzenlemelerin (tedbir/teşvik) uygulayıcılarıdır. Balıkçıların sosyal ve ekonomik durumlarını olumsuz etkileyebilecek ve balıkçılar tarafından benimsenmeyebilecek düzenlemelerin başarılı olma şansı düşüktür. Bu nedenle, balıkçılık yönetiminde uygulamaya alınacak düzenlemelerin etkilerinin neler olabileceğinin belirlenebilmesi için düzenlemeler yürürlüğe girmeden önce ve yürürlüğe girdikten sonra sosyo-ekonomik göstergelerinin belirlenmesi gerekir. Böylece düzenlemelerin balıkçılığın sosyo-ekonomik göstergelerinde yarattığı olumlu veya olumsuz değişimler bilinebilecektir. Bu bilgi, yönetsel düzenlemelerin balıkçılık kaynaklarına ve balıkçıların refahına nasıl bir etki yaptığının bilinmesini sağlayacaktır. Etkin balıkçılık yönetimi, uygun politik ve düzenleyici enstrümanları kullanarak sosyal amaçlara ve hedeflere ulaşma esasına dayanır (Charles, 1988). Balıkçıların ve balıkçılık faaliyetlerinin özellikleri dikkate alınmadan uygulanan yönetim politikalarının başarılı olması ve hedeflenen sonuçlara ulaşması oldukça zordur. Bugüne kadar Akçakoca balıkçılığının sosyo-ekonomik göstergelerinin saptanmasına yönelik bir çalışma olmadığından, bu çalışmanın Akçakoca deniz balıkçılığının sosyo-ekonomik göstergelerine ilişkin veri tabanı oluşturması hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, balıkçılık yönetimi tarafından uygulanan yönetsel politikaların balıkçılık kaynaklarına ve balıkçıların refah düzeyine ne gibi etkiler yaptığının bilinmesi için sosyo-ekonomik göstergelerinin hem yönetsel politikaların uygulanmasından önce hem de uygulanmasından sonra belirlenmesi gerekir. Sosyo-ekonomik göstergelerin sadece yerel düzeyde değil, ulusal düzeyde saptanmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Böylece, uygulamaya alınacak yönetsel politikaların; ülke düzeyinde balıkçılığın sosyo-ekonomik göstergelerinde yarattığı etkileri görmek mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Accadia, P., & Spagnolo, M. (2006).** *Socio-economic indicators for the Adriatic Sea demersal fisheries*. IIFET 2006 Portsmouth Proceedings, 9 p.
- Anonymous. (1999).** *Indicators for sustainable development of marine capture fisheries*. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. FAO, No:8, 68 p., Rome.
- Anonymous. (2001).** *Spain-methodology and use of socio-economic indicators for managing fisheries*.

OECD Ed., 22 p., Paris. <http://www.oecd.org/spain/2639203.pdf>, (04 Ocak 2019)

- Charles, A.T. (1988).** Fishery socioeconomic: A survey. *Land Economics*, **64**, 276-295.
- Çeliker, S.A., Korkmaz, A.Ş., Dönmez, D., Gül, U., Demir, A., Genç, Y., Kalanlar, Ş., & Özdemir, İ. (2006).** *Karadeniz Bölgesi'nde su ürünleri avcılığı yapan işletmelerin sosyo-ekonomik analizi*. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Tarım Ekonomisi Araştırma Enstitüsü (TEAE), Yayın No:143, 122s., Ankara.
- De Stefano, V., Di Trapania, A.M., & Macaluso, D. (2006).** Deep-sea shrimp fishery in Sicily: The economic performance of the shrimp trawling fleet in the ports of MazaradelVallo, Sciacca, and Porto Empedocle. *Chemistry and Ecology*, **22**, 433-442. DOI: 10.1080/02757540600571877
- Düzgüneş, O., Kesici, T., & Gürbüz, F. (1983).** *İstatistik metodları-I*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını, No: 861, Ders Kitabı No: 229, 218 s., Ankara.
- Ferraris, J. (2002).** *Fishing fleet profiling methodology*. FAO Fish. Tech. Pap. FAO, No:423, 87 p., Rome.
- Franquesa, R., Malouli, I.M., & Alarcon, J.A. (2001).** *Feasibility assessment for a database on socio-economic indicators for Mediterranean fisheries*. Studies and Reviews. GFCM. FAO, No:71, 55 p., Rome.
- Gasalla, M.A., Rodrigues, A.R., Duarte, L.F.A., & Sumaila, U.R. (2010).** A comparative multi-fleet analysis of socio-economic indicators for fishery management in SE Brazil. *Progress in Oceanography*, **87**(2010), 304-319.
- Korkmaz, A.Ş. & Coşkun, T. (2016).** Endüstriyel balıkçı teknelerinin sosyo-ekonomik göstergeleri: Sinop ili örneği. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, **2**(4), 208-216. DOI: 10.3153/JAEFR16023
- Mutlu, C., Uncumusaoğlu, C.M., & Verep, B. (2018).** Giresun' un balıkçılık faaliyetlerinin ekonomik analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, **8**(1), 87-97.
- Mutlu, C., Uncumusaoğlu, C.M., & Verep, B. (2018).** The Socio-economic structure of Giresun fisherman. *Fresenius Environmental Bulletin*, **27**(8), 5531-5539.
- Pinello, D. (2017).** *Hand book for fisheries socio-economic sample survey. Principles and practice*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 613, 118p.
- Rad, S., & Delioğlu, Ş. (2006).** Taşucu'nda trol tekne balıkçıları ve sosyo-ekonomik göstergeler. *Türkiye VII. Tarım Ekonomisi Kongresi*, 1070-1080, Ankara.
- Rad, S., & Delioğlu, Ş. (2008).** Taşucu trol teknelerinin ekonomik yapısı ve performansı. *Journal of FisheriesSciences.com*, **2**(3), 216-223. DOI: 10.3153/JFSCOM.MUG.200705.
- Sabatella, E., & Franquesa, R. (2004).** *Manual of fisheries sampling surveys: methodologies for*

estimations of socio-economic indicators in the Mediterranean Sea. *Studies and Reviews. GFCM*. FAO, 73, 37 p., Rome.

Sumaila, U.R., Liu, Y., & Tyedmers, P. (2001). Small versus large-scale fishing operations in the North Atlantic. SeaAround Us Project (SAU), SAU Final Report Workshop in Nanaimo, April 2001, 28-35.

Ünal, V. (2002). Trol balıkçılığında yatırımın kârlılık analizi, Foça (Ege Denizi). *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, **19**(3-4), 411-418.

Ünal, V. (2004). Viability of trawl fishing fleet in Foça (the Aegean Sea), Turkey some advice to central management authority. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **4**, 93-97.

Yağlıoğlu, D. (2013). Akçakoca (Batı Karadeniz) balıkçılığı ve balıkçıların sosyo ekonomik analizi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, **9**(1), 35-42.

Yamane, T. (2001). *Temel örnekleme yöntemleri*. (Çevirenler: A. Esin, C. Aydın, M. A. Bakır ve E. Gürbüzsel). Literatür Yayınları, Yayın No: 53, 505, İstanbul.



Farklı Meşçere Tiplerinde Kızılçam (*Pinus Brutia*) Ormanları İçin Toprak Üstü Biyokütle Karbon Tahmini: Landsat 9 Uydu Verileri ile Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Esin KARAMANLI^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 01790, Adana, Türkiye

Geliş Tarihi: 21.05.2024

Kabul Tarihi: 10.06.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Karamanli, E. (2025). Farklı Meşçere Tiplerinde Kızılçam (*Pinus Brutia*) Ormanları İçin Toprak Üstü Biyokütle Karbon Tahmini: Landsat 9 Uydu Verileri ile Makine Öğrenmesi Yaklaşımı. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(4), 408-415. <https://doi.org/10.35229/jaes.1703797>

How to cite: Karamanli, E. (2025). Above Ground Biomass Estimation for Turkish Pine (*Pinus brutia*) Forests in Different Stand Types: A Machine Learning Approach with Landsat 9 Satellite Data. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(4), 408-415. <https://doi.org/10.35229/jaes.1703797>

*ID: <https://orcid.org/0000-0003-0324-1486>

***Sorumlu yazar:**

Esin KARAMANLI
Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,
Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 01790, Adana,
Türkiye

✉: esin.karamanli@gmail.com

Öz: Orman Toprak Üstü Biyokütlesi (TÜB) orman ekosistemlerinin konumsal-zamansal değişimini gözlemlemek ve değerlendirmek için önemli biyofiziksel değişkenlerdir. Sürdürülebilir orman yönetim stratejilerini daha iyi destekleyebilmek için uzaktan algılama araçları ile sürekli ve doğru bir şekilde Toprak Üstü Biyokütle Karbon (TÜBK) tahmininin sağlanabilir olması gerekmektedir. Landsat 9 C2L1 uydu verileri ve makine öğrenmesi algoritmaları (Yapay Sinir Ağları (YSA), Rastal Orman Algoritması (ROA) ve Destek Vektör Makineleri (DVM)) bu çalışmada Adana ili "*Pinus brutia*" meşçerelerinde tutulan TÜBK miktarının tahmininde kullanılmıştır. Landsat 9 uydu verileri ile elde edilen spektral indisler Normalize Edilmiş Farklı Vejetasyon İndeksi (NFVI), İyileştirilmiş Vejetasyon İndeksi (İVI) ve Orman Kanopi Yoğunluk (OKY) altlığı bağımsız değişken kümesi olarak kullanılmıştır. Tahmin doğruluğunu arttırmak için birden fazla model kurulumu gerçekleştirilmiş ve en yüksek TÜBK tahmin Rastal Orman Algoritmaları (0,84 R²) aracılığıyla elde edilmiştir. İkinci en yüksek model tahmini, çapraz doğrulama uygulanarak hiperparametre optimizasyonu sağlanması hedeflenen veri seti kullanılarak Rastal Orman Algoritması (0,62 R²) ile elde edilmiştir. Üçüncü en yüksek model performansı ise veri setinin radyal düzlemde değerlendirildiği Destek Vektör Makineleri (0,61 R²) ile elde edilmiştir. Sonuçlar diğer makine öğrenmesi algoritmaları içerisinde hiperparametre optimizasyonu sağlanmamış veri seti ile kurulan Rastal Orman Algoritması model performansının oldukça önemli bir farkla TÜBK tahmininde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışma Orman Envanter Yönetimi çalışmaları için oldukça basit ve etkili bir yöntem aracı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Orman kanopi yoğunluğu, spektral indeksler, toprak üstü biyokütle karbon, makine öğrenmesi algoritmaları.

Above Ground Biomass Estimation for Turkish Pine (*Pinus brutia*) Forests in Different Stand Types: A Machine Learning Approach with Landsat 9 Satellite Data

Abstract: Forest Aboveground Biomass (AGB) is a crucial biophysical variable to observe and evaluate the spatial and temporal changes of forest ecosystems. In order to support sustainable forest management strategies, Aboveground Biomass Carbon (AGBC) estimation should be provided with remote sensing tools consistently and accurately. In this study, Landsat 9 C2L1 satellite data and machine learning algorithms (Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), and Support Vector Machine (SVM)) were used to estimate the amount of AGBC stored in the "*Pinus brutia*" stands of Adana province. Spectral indices (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI)) obtained with Landsat 9 satellite data and Forest Canopy Density (FCD) layers were used as independent variable set. In order to increase the prediction accuracy, more than one model was installed and the highest AGBC estimation was obtained through Random Forest Algorithm (0.84 R²). The second highest model estimation was obtained by the Random Forest Algorithm (0.62 R²) using the data set aimed to provide hyperparameter optimization by applying cross-validation. The third highest model performance was obtained by the Support Vector Machine (0.61 R²), in which the data set is evaluated in a radial plane. The results revealed that the model performance of the Random Forest Algorithm, which was established with a data set that was not hyperparameter optimized among other machine learning algorithms, can be used to estimate AGBC with a very significant difference. This study presents a straightforward and efficient way for Forest Inventory Management studies.

Keywords: Forest canopy density, spectral indices, aboveground biomass carbon, machine learning algorithms.

***Corresponding author's:**

Esin KARAMANLI
Çukurova University, Faculty of Architecture,
Department of Landscape Architecture, 01790,
Adana, Türkiye

✉: esin.karamanli@gmail.com

GİRİŞ

Ekosistemin düzenleyici kategorisinde değerlendirilen karbon depolama hizmeti (Budak vd., 2019; Ercanlı vd., 2023), bir kaynak alternatifi olarak orman ekosistemini kapsayan “orman biyokütlesi”nin tahmini ve değerlendirilmesine yönelik çalışmaları zorunlu kılmaktadır. Orman ekosistemleri üzerine gerçekleştirilen biyokütle çalışmaları, son zamanlarda oldukça popüler olan küresel ısınma ve ısınmanın karbon döngüsü dengesine dayalı değişim eğilimine oldukça odaklanmış durumdadır (Çorbacı vd., 2024; Değermenci, 2023). Bu çalışmalar, karbon salınımindaki artışın küresel düzeyde ısı değişimine olan negatif yönlü etkisini elimine etmek için orman biyokütlesinin en geniş yutak potansiyellerinden biri olan doğal ve yapay meşçereler üzerinde popüler bir araştırma ilgisi yaratmıştır (Saraçoğlu, 1998). Küresel değişim ve ekosistem fonksiyonu için doğru biyokütle tahmini bu araştırmaların önemli adımlarından biri kabul edilmektedir (Ghosh & Behera, 2018; Lu vd., 2016). Farklı meşçere tiplerinin karbon tutumuna yönelik tahmin bilgisinin somutlaştırılması ve yönetim çevreleri için kullanıma hazır hale getirilmesi doğal kaynak yönetim süreçlerini kolaylaştırıcı faktör olarak değerlendirilmektedir (Anaya vd., 2009). Atmosferdeki toprak üstü karbon döngüsünü düzenlemede karbon havuz potansiyelinin arttırılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi mevcut meşçere tiplerine ait yutak potansiyellerinin tespiti ile mümkün görülmektedir.

Gövde, kütük, dallar, kabuk, tohumlar ve yapraklar dahil toprak üzerinde yaşayan canlı biyokütlenin tümünü ifade eden Toprak Üstü Biyokütle'deki (TÜB) (Ravindranath & Ostwald, 2008) karbonun tahmini için en doğru metot alan ölçümlerine dayalı olarak geliştirilen çalışmalar olarak görülmektedir (Segura & Kanninen, 2005). Sürekli olarak gelişmekte ve değişmekte olan canlı biyokütlenin yutak miktarı potansiyelini saha çalışmaları ile güncel tutmak oldukça zor ve zaman alıcı bir çabayı gerekli kılar. Bu aşamada, uydu görüntüleri aracılığıyla bilgi çıkarımı yoğun emek gerektiren saha çalışması sürecini oldukça kolaylaştıran bir araç olarak karşımıza çıkar. Orman ekosistemleri için yer üstü biyokütlenin tahmininde uydu görüntülerini referans alan metotların kullanımı son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır (Lu vd., 2016). Süreç ve deneysel temelli birçok ekosistem tahmin modeli geliştirilmiş (Lu vd., 2012), çalışmalar orman kapallılık derecesini dikkate alarak tür bazında parametrelerin türetilmesini sağlamıştır. Bu kapsamda ülke sınırlarımız içerisinde, ağaç türlerinin canlı biyoküttelede hapsedebildiği karbon miktarlarının hesaplanmasına yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Durkaya vd., 2018). Bu çalışmalarda orman ekosistemlerinde yer alan herdem-yeşil ve yaprak döken ağaç türleri ayrıştırılarak toplam karbon stoğu (Tolunay & Çömez, 2008) ve farklı tür dağılımlarına göre Odun

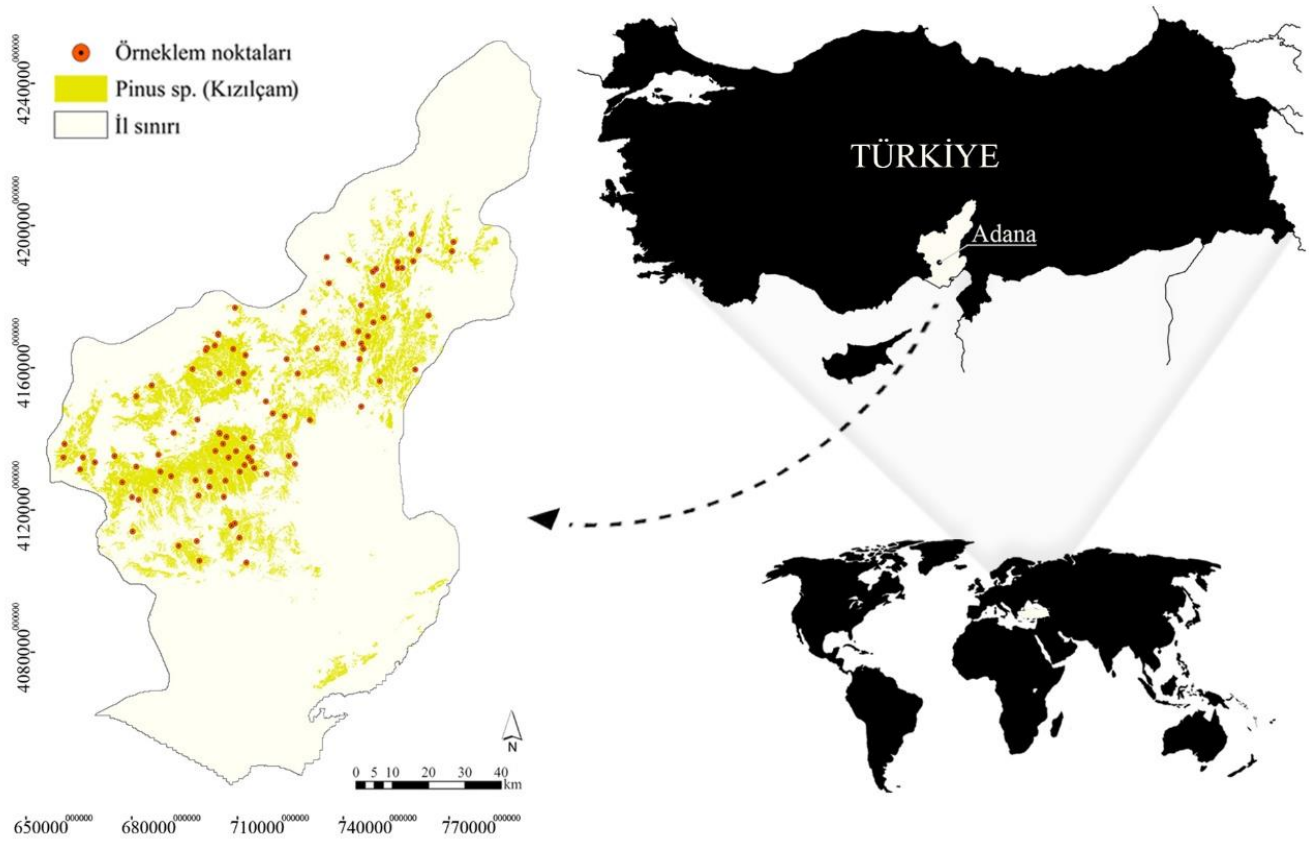
Yoğunluğu (OY), Biyokütle Genleşme Faktörü (BGF) ve Ticari Ağaç Hacmi (TAH) katsayıları (Saraçoğlu, 2000; Tolunay, 2011; Ünsal, 2007) hesaplanmıştır. Geliştirilen parametreler diğer birçok çalışmada referans gösterilerek TÜBK tahmininde kullanılmıştır (Akpınar, 2022; Kahyaoğlu vd., 2019). Ancak, her ne kadar anılan kapsamsaki çalışmalar tür bazına indirgenerek spesifik hale getirilse de canlı biyokütlenin gelişimini izleyerek toplam TÜBK miktarı üzerine sürekli bilgi sahibi olabilmek için yeterli düzeyde değildir. Uydu verilerine dayalı çalışmaların geliştirilmesi ve tahmin performanslarının gerçeğe yakın sonuçlar üretebilir hale getirilmesi veri güncelleme süreçlerinin kolaylaşması açısından oldukça önemli görülmektedir. Bu sebeple bu çalışma, Adana il sınırları içerisinde oldukça geniş bir yüzey alanı işgal eden “*Pinus brutia*” türüne ait farklı tip meşçerelerin TÜBK miktarının uydu verileri ile ne kadar doğru tahmin edilebileceği üzerine kurgulanmıştır.

Adana il sınırları içerisinde 451,270 ha yüzey alanına sahip orman alanlarının 214,121 ha'lık dilimini farklı tipte “*Pinus brutia*” meşçereleri oluşturmaktadır. 47,192,342 ton TÜBK barındıran tüm orman alanları içerisinde, bu miktarın 15,524,681 tonu “*Pinus brutia*” meşçerelerinde tutunmuş durumdadır (Karamanlı, 2024). Önemli bir karbon yutak hacmi potansiyeline sahip olması nedeni ile, bu çalışmada Adana ili Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan tüm orman işletme şefliklerine ait denetim sahası içerisindeki “*Pinus brutia*” meşçerelerine ait toprak üstü biyokütle karbon miktarının Landsat 9 C2L1 uydu verileri ile tahminini hedeflemektedir. Bu doğrultuda, Adana ili amenajman planından alınan meşçere tipleri ile birim alan hacim değerleri üzerinden toprak üstü biyokütle karbon miktarları hesaplanmış ve uydu verileri referans alınarak makine öğrenmesi algoritmaları ile yürütülen tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal:

Çalışma Alanı: İstatistikî Bölge Birimleri Sınıflandırmasına (İBBS) göre TR62 Bölgesinde yer alan Adana İli 1.409.680 ha yüzölçümü ile Türkiye yüzölçümünün %1.8'sini kapsamakta ve 36°30'-38°25' kuzey enlemleri ile 34°48'-36°41' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Karamanlı, 2024). Türkiye'nin güneyinde Doğu Toroslarını içine alan Adana il sınırı, Akdeniz kıyılarından kuzeyde Toros Dağları'nın yüksek tepelerine kadar uzanmaktadır. Akdeniz ikliminin etkisi altında bulunan Adana ilinde yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise ılık ve yağışlıdır. Şekil 1 “*Pinus brutia*” türüne yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada değerlendirmeye alınan meşçerelerin dünya ve ülke sınırları içerisindeki konumunu göstermektedir.



Şekil 1. Türkiye sınırları içerisinde çalışma alanının konumu / Adana ili.

Figure 1. Location of the study area within the boundary of Turkey / Adana province.

Veri Setinin Temini: Toprak Üstü Biyokütle Karbon (TÜBK) varlığının tahmini hedeflenen bu çalışmada 2023 yılı tarihli Landsat 9 C2L1 uydu verileri kullanılmıştır. TÜBK varlığının hesaplanabilmesi için gerekli meşçere haritası ve Adana ilini kapsayan 42 orman işletme şefliği için meşçere tipleri tanıtım tabloları Adana Orman Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Kullanılan veri setine ait detaylı bilgi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan veri seti özellikleri.

Table 1. Dataset specifications.

Band	Tanım	Çözünürlük	Kaynak
B_2	Band 2 Visible Blue (0.450 - 0.51 μm)	30	(USGS,2025)
B_3	Band 3 Visible Green (0.53 - 0.59 μm)	30	
B_4	Band 4 Red (0.64 - 0.67 μm)	30	
B_5	Band 5 Near-Infrared (0.85 - 0.88 μm)	30	
B_6	Band 6 SWIR 1(1.57 - 1.65 μm)	30	
B_7	Band 7 SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm)	30	
Sayısalastırılmış Adana ili Meşçere Haritası			(OBM,2025)

Metot:

Orman Kanopi Yoğunluğunun Hesaplanması:

Orman Kanopi Yoğunluk (OKY) altlığının hesaplanabilmesi için ham Landsat 9 uydu verilerinin Atmosfer Üstü Yansımaya (AÜY) (Top of Atmosphere (TOA)) dönüşümü ($\text{Watts}/(\text{m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \mu\text{m})$) Eşitlik 1 (Loi vd., 2017) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu eşitlikte M_L banda özgü çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörünü (REFLECTANCE_MULT_BAND), A_L banda özgü ilave yeniden ölçeklendirme faktörünü (REFLECTANCE_ADD_BAND), Q_{cal} niceliksel ve kalibre edilmiş standart ürün piksel değerini (Ham uydu verisi değeri: Digital Number (DN)) ifade eder. Elde edilen yansımaya verileri kullanılarak Gelişmiş Vejetasyon İndeksi (GVİ), Çıplak Toprak İndeksi (ÇTİ) ve Kanopi Gölge İndeksi (KGİ) hesaplanmıştır. Bu aşamada GVİ, ÇTİ ve KGİ için sırasıyla Eşitlik 2, 3 ve 4 (Bera vd., 2020) kullanılmıştır.

$$GVİ = [(B_5 + 1) * (65536 - B_4) * (B_5 - B_4)]^{1/3} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$\text{ÇTİ} = \frac{((B_6 + B_4)) - ((B_5 + B_2))}{((B_6 + B_4)) + ((B_5 + B_2))} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

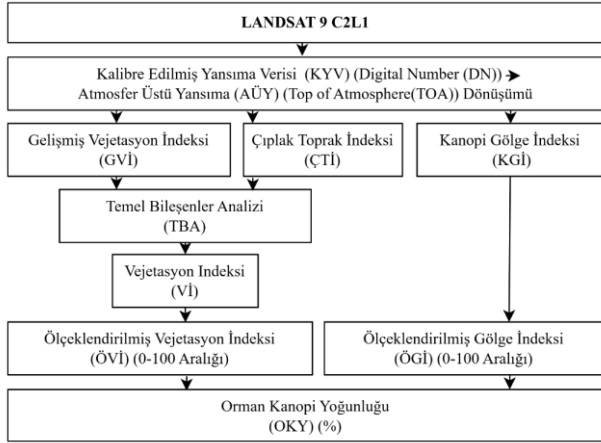
$$KGİ = [(1 - B_4) * (1 - B_3) * (1 - B_2)]^{1/3} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

GVİ ve ÇTİ altlıklarına ArcGIS Pro yazılım ortamında Temel Bileşenler Analizi (TBA) uygulanarak Vejetasyon İndeksi (Vİ) altlığı elde edilmiştir. Elde edilen Vİ ve KGİ altlıkları yeniden ölçeklendirilerek sırasıyla 0-100 aralığında Ölçeklendirilmiş Vejetasyon İndeksi (ÖVİ) ve Ölçeklendirilmiş Kanopi Gölge İndeksi (ÖGİ) altlıklarına dönüştürülmüştür. ÖVİ ve ÖGİ altlıkları kullanılarak elde edilen Orman Kanopi Yoğunluğuna

(OKY) ait formülasyon (Abdollahnejad vd., 2017) Eşitlik 5'te paylaşılmıştır.

$$OKY (\%) = [SVI * SKGI + 1]^{\frac{1}{2}} - 1 \quad (\text{Eşitlik 5})$$

OKY altlığının elde edilmesi için kullanılan yöntem akış grafiği Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Orman kanopi yoğunluğu altlığı için yöntem akış grafiği.
Figure 2. Method flowchart for forest canopy density layer.

Toprak Üstü Biyokütle Karbon Miktarının

Hesaplanması: Kyoto Protokolüne tâbi diğer tüm ülkeler gibi Türkiye’de Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından hazırlanan Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık için Pratik Rehber’i referans alarak TÜBK miktarını hesaplamaktadır. Bu kaynağa göre TÜBK Eşitlik 6’da verilen formül ile ifade edilir (IPCC, 2003).

$$TÜBK \left(\frac{mg}{ha} \right) = TAH \left(\frac{m^3}{ha} \right) * OY \left(\frac{mg}{m^3} \right) * BGF \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Bu eşitliğe (6) göre ‘TAH’ ormanlık alanlardaki ağaç servet değerini ifade etmektedir (TAV, 2020). Adana Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki 42 Orman İşletme Şefliğinin denetim sınırları içerisinde yer alan “*Pinus brutia*” meşçereleri için ağaç servet değeri ve ağaç artım değeri (m^3/ha cinsinden) meşçere haritası üzerinde sayısallaştırılmıştır. Burada ‘OY’ hacim ağırlıklı ortalama odun yoğunluğunu (mg/m^3), ‘BGF’ ise biyokütle genişleme faktörünü ifade etmektedir. ‘OY’ ve ‘BGF’ katsayıları, Tolunay (2008) tarafından gerçekleştirilen geniş kapsamlı literatür taramasının sonuçlarından elde edilmiştir. Çalışma, Türkiye için biyokütledeki ‘BGF’ ve ‘OY’ miktarlarını mg/m^3 cinsinden hesaplamaya yardımcı olan katsayıları tür bazında ortaya koymaktadır. Adana ili kapsamındaki “*Pinus brutia*” türlerine ait katsayılar bu çalışmadan derlenerek Tablo 2’de verilmiştir.

Toprak Üstü Biyokütle Karbonu (TÜBK) hesaplanırken biyokütlenin birim hektarda karbon miktarına dönüşüm oranı “*Pinus brutia*” gibi iğne yapraklı türler için 0.51, çarpımıyla (Yolasiğmaz vd., 2016) elde

edilmektedir. Bu katsayı kullanılarak TÜBK miktarı elde edilmiştir.

Tablo 2. “*Pinus brutia*” ağaçları için odun yoğunluk (OY) ve Biyokütle Genişleme Faktörü (BGF) katsayıları (Tolunay 2008).

Tablo 2. Wood Density (WD) ve biomass expansion factor (BEF) coefficients (Tolunay 2008) for “*Pinus brutia*” trees.

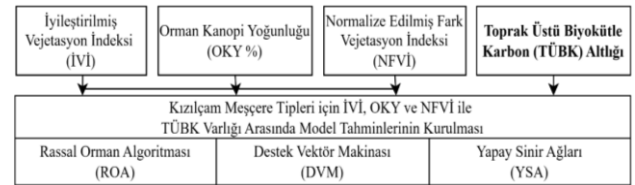
Tür Grubu	OY (mg/m^3)	BGF
“ <i>Pinus brutia</i> ”	0,478	1,225

İstatistiksel Analiz: TÜBK tahmininin açıklayıcıları olarak bu çalışmada NFVİ, İVİ ve OKY kullanılmıştır. NFVİ Eşitlik 7’de (Sun vd., 2023) ve İVİ (Matsushita vd., 2007) Eşitlik 8’de belirtilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$NFVİ = (B_5 - B_4) / (B_5 + B_4) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$İVİ = G * \frac{B_5 - B_4}{B_5 + C_1 * B_4 - C_2 * B_2 + L} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Eşitlik 8’de ifade edilen ‘G’ kazanç faktörü (gain factor), ‘C₁’ ve ‘C₂’ atmosferik direnç katsayılarını (coefficient for atmospheric resistance, C₁:6 ve C₂:7,5) ifade etmektedir. ‘L’ ise yaprak kanopisinin doğrusal olmayan hizalamasını sağlar ve ‘1’ değerine eşittir. Bu aşamaya kadar belirtilen yöntem izlenerek elde edilen NFVİ, İVİ ve OKY altlıkları ROA, DVM ve YSA makine öğrenmesi algoritmaları ile TÜBK tahmininde kullanılmıştır. İstatistiksel analizler RStudio 4.4.2 yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada izlenen yöntem akış grafiği Şekil 3 üzerinde görülmektedir.



Şekil 3. TÜBK tahmininde kullanılan yöntem akış grafiği.

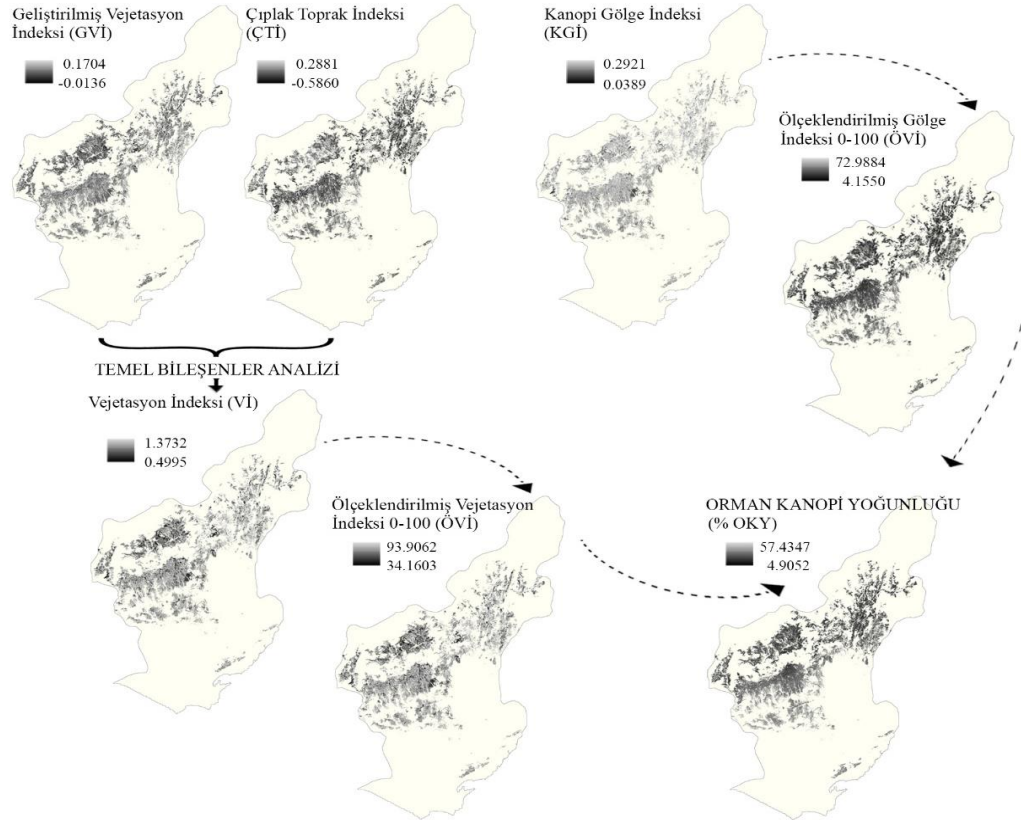
Figure 3. Flowchart of the method used in AGBC estimation.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kalibre edilmiş Landsat 9 uydu verileri (Tablo 1) kullanılarak elde edilen GVI ve ÇTİ altlıklarına TBA uygulanarak VI altlığı elde edilmiştir. TBA’nde GVI ve ÇTİ altlıkları için standart sapma değeri sırasıyla 0,1834 ve 0,0209 olarak gözlemlenmiştir. KGI ve VI altlıklarının Eşitlik 4’te paylaşılan formülde kullanılabilmesi için standardizasyonu sağlanmış ve 0-100 aralığına yeniden ölçeklendirilmiştir. Elde edilen ÖVİ ve ÖGI altlıkları Eşitlik 5’te ifade edilen formülde kullanılarak Adana ili “*Pinus brutia*” meşçerelerine ait OKY altlığı elde edilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü gibi “*Pinus brutia*” meşçerelerinde yer alan ağaç topluluklarına ait kanopi yoğunluk yüzdesi maksimum %57,43 ve minimum %4,90 olarak hesaplanmıştır. Sonuç OKY katmanını incelendiğinde yoğun ve az yoğun meşçerelerin çalışma sahası içerisinde

homojen bir dağılım sergilediği gözlemlenmiştir. 1300-1550 m yükseklikte ve tipik Akdeniz iklimi etkisi altında uygun yaşam koşullarına erişen kızılçam türleri (Keten & Gülsoy, 2020) için bu durum oldukça ideal kabul edilmektedir. Çalışmanın nihai hedefini oluşturan TÜBK tahmini için sadece orman kanopi yoğunluğunun değerlendirmeye alınması çalışma sahası içerisindeki karışık veya tek tip meşçere sınıflarındaki ağaç-ağaççıkların karakteristik özelliklerinin değerlendirmeye alınabilmesi için yeterli görülmemektedir. Benzer amaçla

yürütülen çalışmaların birçoğunda OKY altlığına ek olarak, bitki örtüsünün sağlıklı olup olmama durumunu ortaya koyan NFVİ ve bitki biyokütlesi hakkında bilgi sağlayan İVİ (Xie & Fan, 2021) altlıkları bir arada değerlendirilmektedir (Ahmad vd., 2021; Joshi vd., 2002; Zhang vd., 2024). Bu çalışmada da benzer bir yöntem izlenmiş ve Adana ili "*Pinus brutia*" meşçerelerinde hapsolan TÜBK tahmini için OKY, NFVİ ve İVİ altlıkları açıklayıcı değişken kümesi olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Sonuç orman kanopi yoğunluk altlığı ve ön hazırlık aşamaları.
Figure 4. Final forest canopy density layer and preliminary processes.

Son zamanlarda üstün tahmin yeteneği ile öne çıkan YSA, ROA ve DVM makine öğrenmesi algoritmaları (Kılıç vd., 2022) bu çalışmada da TÜBK tahmininde yordayıcı araç olarak kullanılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te paylaşılmıştır. Bu sonuçlara göre ROA, YSA ve DVM algoritmasına göre oldukça anlamlı bir fark (0,84 R², 31,56 RMSE ve 26,91 MAE) ile en ideal tahmin modeli (modelRFtune1) kurulmasını sağlamıştır. ROA, son zamanlarda uydu verilerine dayalı yersel bilginin çıkarımında diğer doğrusal ve doğrusal olmayan makine öğrenmesi algoritmalarına göre oldukça anlamlı sonuçlar üreterek birçok çalışmada (Grimm vd., 2008; Li vd., 2022) başarısını kanıtlamış durumdadır. Bu çalışmada da benzer bir sonuca ulaşılmıştır. 0,84 R² değeri oldukça anlamlı bir tahmin modeli kurulduğuna işaret etmektedir.

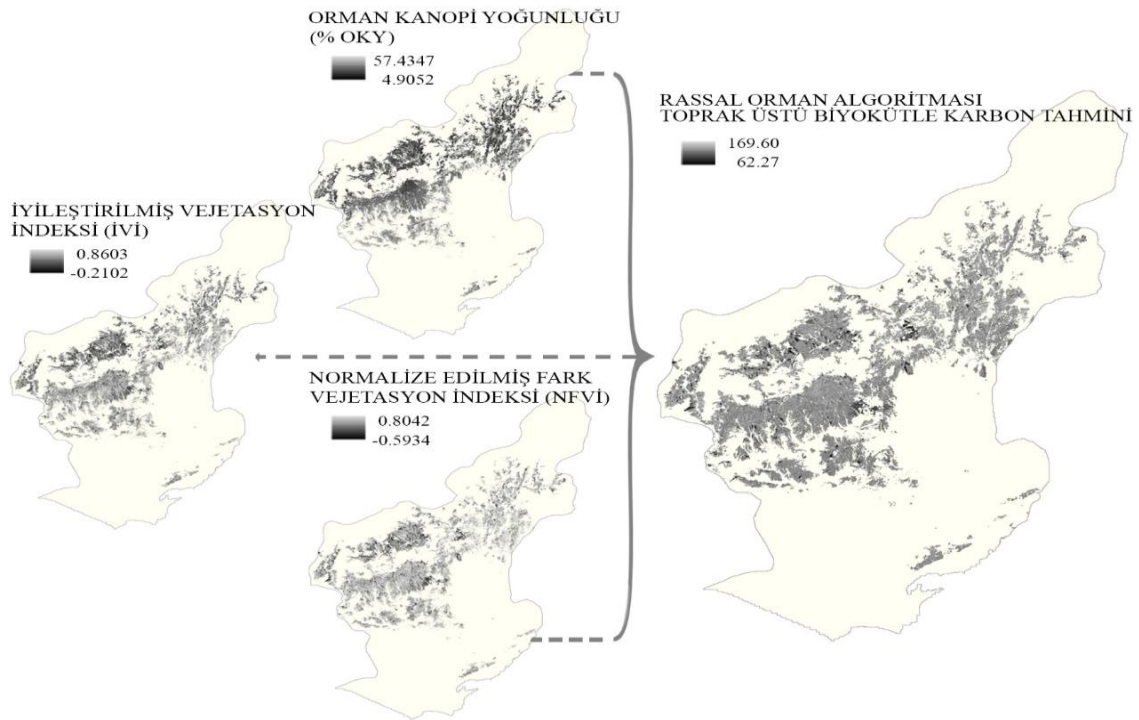
Tablo 3. Model tahmin sonuçları.

Table 3. Results of model estimation.

Model	R ²	RMSE	MAE	Model Kurulumu
DVM	0,61	54,15	44,43	type <- 'eps-regression', kernel <- 'radial'
	0,54	56,34	47,62	type <- 'eps-regression', kernel <- 'linear'
	0,52	133,5	98,89	type <- 'eps-regression', kernel <- 'sigmoid'
	0,46	59,65	48,01	type <- 'eps-regression', kernel <- 'polynomial'
	0,84	31,56	26,91	modelRFtune1 <- trainControl(method = "cv", number = 5, search = "grid")
ROA	0,62	40,10	33,02	modelRFtune2 <- train(tük ~., data = train_rf, method = "rf", tuneGrid = expand.grid(mtry=1:4), trControl = trControlRF2)
	0,52	0,806	0,676	model_Ann1 <- neuralnet(tük ~., data = train_ann, hidden=3, threshold = 0.03, learningrate = 0.05, linear.output = TRUE)
YSA	0,53	0,807	0,677	model_Ann2 <- neuralnet(tük ~., data = train_ann, hidden=3, threshold = 0.04, learningrate = 0.05, linear.output = TRUE)

Zhen vd., (2019) çalışmasında NFVI ve İVİ altlıklarını ROA ile yordayarak TÜBK tahmininde bulunmuş ve farklı model kurulum denemeleri neticesinde en yüksek 0,68 R^2 değerine ulaşmıştır. Burada OKY altlığının değerlendirmeye alınmamış olması, çalışmamız sunucunun (0,84 R^2) bu çalışmaya göre çok daha anlamlı bir sonuca ulaşmasının nedeni olarak düşünülmektedir. Wu vd. (2024) TÜBK tahmini için ROA ve Deneysel Bayesian Kriging Modeli (DBKM) bir arada kullanmış ve 0,78 R^2 değerine sahip model tahmin sonucu elde etmişlerdir. Bu çalışmada TÜBK tahminin açıklayıcısı olarak kullanılan değişkenler arasında arazi örtüsü-arazi kullanım bilgisine, spektral bazlı vejetasyon indekslerine (Toprak Bazlı Vejetasyon İndeksi (TBVİ), Yeşil Yaprak İndeksi (YYİ), Vejetasyon Oran İndeksi (VOİ) vb.) yer verilmiş ve oldukça kalabalık bir değişken kümesi hazırlanmıştır. Ancak spektral bilgiye dayalı çalışmalarda veri hassasiyetini göz ardı ederek birden fazla benzer amaçlı spektral yansıma bilgisi kullanımının veri

yorumlanabilirliğini zorlaştırdığı düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan değişkenlerin anlamlı bir varyans ortaya koyabilmek için oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. Lourenço vd. (2021) çalışmasında NFVİ, Vİ ve uydu verilerine ait tekstür bilgilerini (homojenite, ortalama ve varyans) kullanarak ROA ile 0,82 R^2 değerine sahip TÜBK miktarı tahmini sağlamışlardır. Oldukça benzer bir çalışma doğruluğu sağlamış olduğumuz bu çalışmada İVİ algoritmasına yer verilmemesine rağmen benzer amaç gözetilen tekstür bilgisinin kullanılması neredeyse özdeş sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. İncelenen örneklerde olduğu gibi benzer amaçlı çalışma bulgularına göre bu çalışmanın anlamlı düzeyde doğru TÜBK tahmini üretebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 5’de Adana ili “*Pinus brutia*” meşçerelerine ait OKY, NFVİ ve İVİ değişkenleri ve en yüksek tahmin doğruluğuna sahip model (Tablo 3: modelRFtune1) ile hazırlanmış TÜBK altlığı görülmektedir.



Şekil 5. Rassal orman algoritması ile elde edilen nihai toprak üstü biyokütle karbon altlığı.
Figure 5. Final aboveground biomass carbon layer obtained with random forest algorithm.

SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada Adana ili “*Pinus brutia*” meşçerelerine ait Toprak Üstü Biyokütle Karbon (TÜBK) miktarı, Landsat 9 uydu verileri ($B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$) kullanılarak elde edilen Orman Kanopi Yoğunluğu (OKY), Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (NFVİ) ve İyileştirilmiş Vejetasyon İndeksi (İVİ) altlıkları ile Makine Öğrenmesi Algoritmaları (YSA, ROA ve DVM) kullanılarak tahmin

edilmiştir. İlgili literatür çalışmalarına paralel bir çıkarımla Rassal Orman Algoritması ile kurulan model (modelRFtune1) 0,84 R^2 , 31,56 RMSE ve 26,91 MAE değeri ile en yüksek doğruluğa sahip tahmin sonucuna ulaşmamızı sağlamıştır. Oldukça karmaşık ve çoklu değişken kümeleri ile kurulan model denemelerinin aksine sadece OKY, NFVİ ve İVİ altlıkları ile gerçekleştirilen Rassal Orman Algoritması model denemeleri oldukça basit ve etkili bir sonuç elde edilmesi için yeterli olmuştur. Doğal ve/veya doğal olmaya sebepler ile sürekli değişim

dinamiğine sahip “*Pinus brutia*” meşcerelerinin TÜBK miktarına yönelik tahmin bilgisini sağlamada bu çalışma oldukça basit ve etkili bir yöntem ortaya koymuştur. Küresel ısınma ile mücadele için kara-atmosfer arasındaki karbon döngüsünün iyileştirilmesinde orman toprak üstü biyokütleri önemli bir paya sahiptir. Bu çalışmada “*Pinus brutia*” için gerçekleştirildiği gibi tür bazında karbon envanter analizinin sağlanması, emisyon azaltım stratejileri için ormanlaştırma aşamasında tür bazında potansiyel tutum tahmini, hasat planlarında karbon tutumunun izlenmesi (envanter niteliklerinin güncel tahmin kolaylığı), kitlesel tabanlı kaynak envanterinin yerini bitki örtüsüne yönelik kaynak envanterine dönüştürme gibi *Orman Envanter Yönetimini* kapsayan çalışmalarda bu yöntemin oldukça etkin bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D., & Surovy, P. (2017).** Forest canopy density assessment using different approaches – Review. *Journal of Forest Science*, 63(3), 107-116. DOI: [10.17221/110/2016-JFS](https://doi.org/10.17221/110/2016-JFS)
- Ahmad, A., Gilani, H., & Ahmad, S. R. (2021).** Forest aboveground biomass estimation and mapping through high-resolution optical satellite imagery - A literature review. *Forests*, 12(7), 914, DOI: [10.3390/f12070914](https://doi.org/10.3390/f12070914)
- Akpınar, A. (2022).** İnsansız hava aracı ile elde edilen görüntülerden ağaçların toprak üstü biyokütle tahmini ve karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Uzaktan Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye, 89s.
- Anaya, J. A., Chuvieco, E. & Palacios-Orueta, A. (2009).** Aboveground biomass assessment in Colombia: A remote sensing approach. *Forest Ecology and Management*, 257, 1237-1246, DOI: [10.1016/j.foreco.2008.11.016](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.11.016)
- Başkent, E. Z. (2022).** Principal components of carbon Dynamics in forest ecosystem and planning. *Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts*, 4(1), 1-15.
- Bera, B., Saha, S. & Bhattacharjee, S. (2020).** Estimation of forest canopy cover and forest fragmentation mapping using landsat satellite data of Silabati river basin (India). *KN-Journal of Cartography and Geographic Information*, 70, 181-197. DOI: [10.1007/s42489-020-00060-1](https://doi.org/10.1007/s42489-020-00060-1)
- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., & Acir, N. (2019).** Ekosistem servislerinin haritalanması ve önemi. ISPEC, *International Conference on Agriculture, Animal Science And Rural Development-III*, 20-22 Aralık 2019, Van, Türkiye, 273-282.
- Çorbacı, Ö. L., Özçelik, A. E., Yüksek, F., Yüksek, T., & Öztekin Kara, C. (2024).** Climate Change, Carbon Management and Green Space Systems in Architectural Sciences, Gül, A., Demirel, Ö. & Akten, S. (Ed.), *Determination of biomass and carbon sequestration capacity of urban trees: Rize province agricultural botanical park, 1st ed.*, 403-443p, IKSAD Uluslararası Yayın Evi, Adıyaman, Türkiye.
- Değermenci, A. S. (2023).** Düzce ili karasal karbon kapasitesinin belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11, 99-110, DOI: [10.29130/dubited.1023712](https://doi.org/10.29130/dubited.1023712)
- Durkaya, B., Durkaya, A., & Kaptan, S. (2018).** Karbon Birikiminin Farklı Yöntemlerle Hesaplanması; Bartın Orman İşletme Müdürlüğü Örneği. 4th *International Symposium on Environment and Morals*, 27-29 Haziran 2018, Herzegovina, Bosnia, 1-8.
- Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Günlü, A., Çakır, M., Bolat, F., & Bulut, S. (2023).** ÇAKÜ araştırma ormanı karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli toprak üstü ağaç biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 126-134, DOI: [10.53516/ajfr.1376635](https://doi.org/10.53516/ajfr.1376635)
- Ghosh, S.M., & Behera, M.D. (2018).** Aboveground biomass estimation using multi-sensor data synergy and machine learning algorithms in a dense tropical forest. *Applied Geography*, 96, 29-40. DOI: [10.1016/j.apgeog.2018.05.011](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.05.011)
- Grimm, R., Behrens, T., Märker M., & Elsenbeer, H. (2008).** Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island-Digital soil mapping using Random Forests analysis. *Geoderma*, 146, 102-113, DOI: [10.1016/j.geoderma.2008.05.008](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.008)
- IPCC. (2003).** Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, ipcc national greenhouse gas inventories programme, Chapter 4, Section 3, Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Japan, 590p.
- Joshi, C., Leeuw, J.D., Skidmore, A.K., van Duren, I.C., & van Oosten H. (2006).** Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(2006), 84-95, DOI: [10.1016/j.jag.2005.08.004](https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.08.004)
- Kahyaoğlu, N., Güvendi, E., & Kara, Ö. (2019).** Saf doğu kayını meşcerelerinde topraküstü biyokütle miktarlarının belirlenmesi (Sinop-Türkeli Örneği). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 79-85.
- Karamanlı, E. (2024).** Karbon depolama kapasitesine dayalı arazi tahsis optimizasyonu. Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana, Türkiye, 136s.
- Keten, İ., & Gülsoy, S. (2020).** Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında verimlilik ilişkileri. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 88-102, DOI: [10.30516/bilgesci.740067](https://doi.org/10.30516/bilgesci.740067)
- Kılıç, M., Günal, H., & Budak, M. (2022).** Toprak organik karbon içeriğinin tahmin ve

- haritalanmasında makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımı. *1st International Conference on Engineering Natural and Social Sciences*, 20-23 December 2022, Konya, Türkiye, 211-217s.
- Li, Z., Bi, S., Hao, S., & Cui, Y. (2022).** Aboveground biomass estimation in forests with random forest and Monte Carlo-based uncertainty analysis. *Ecological Indicators*, **142**(109246),1-9, DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.109246](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109246)
- Loi, D. T., Chou, T. Y., & Fang, Y. M. (2017).** Integration of GIS and remote sensing for evaluating forest canopy density index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, **8**(8), 539-542. DOI: [10.18178/ijesd.2017.8.8.1012](https://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.8.1012)
- Lourenço, P., Godinho, S., Sousa, A., & Gonçalves, A. C. (2021).** Estimating tree aboveground biomass using multispectral satellite-based data in Mediterranean agroforestry system using random forest algorithm. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, **23**, 1-11, DOI: [10.1016/j.rsase.2021.100560](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100560)
- Lu, D., Chen Qi, Wang, G., Moran, E., Batistella, M., Zhang, M., Laurin, G.V., & Saah, D. (2012).** Aboveground forest biomass estimation with Landsat and LiDAR data and uncertainty analysis of the estimates, *International Journal of Forestry Research*, **2012**(1), 1-16, DOI: [10.1155/2012/436537](https://doi.org/10.1155/2012/436537)
- Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Li, G., & Moran, E. (2016).** A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, **9**(1), 63-105, DOI: [10.1080/17538947.2014.990526](https://doi.org/10.1080/17538947.2014.990526)
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qui, G. (2007).** Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density Cypress Forest. *Sensors*, **7**(11), 2636-2651, DOI: [10.3390/s7112636](https://doi.org/10.3390/s7112636)
- OBM. (2025).** Adana İli Orman Bölge Müdürlüğü İdaresi ve Planlama Şube Müdürlüğü (İç Yazışma Yoluyla). Adana, Türkiye.
- Ravindranath, N.H., & Ostwald, M. (2008).** Carbon Inventory Methods, Handbook for greenhouse gas inventory, Carbon mitigation and roundwood production projects, Methods for estimating above-ground biomass - Chapter 10, 113-147p, Springer Dordrecht, The Netherlands.
- Saraçoğlu, N. (1998).** Biomass tables of beech (*Fagus orientalis lipsky*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **22**(1), 93-100.
- Saraçoğlu, N. (2000).** Sakallı kızılğac (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) biyokütü tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **24**(2), 147-156.
- Segura, M., & Kanninen, M. (2005).** Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, **37**(1), 2-8. DOI: [10.1111/j.1744-7429.2005.02027.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.02027.x)
- Sun, Y., Wang, B., Teng, S., Liu, B., Zhang, Z., & Li, Y. (2023).** Continuity of top-of-atmosphere, surface, and nadir BRDF-Adjusted Reflectance and NDVI between Landsat-8 and Landsat-9 OLI over China landscape. *Remote Sensing*, **15**(4948),1-17, DOI: [10.3390/rs15204948](https://doi.org/10.3390/rs15204948)
- TAV (Türkiye Orman Varlığı). (2020).** T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Türkiye Orman Varlığı Raporu, OGM Ofset, Ankara, Türkiye, 58p.
- Tolunay, D., & Çömez, A. (2008).** Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu 2008*, 22-25 Ekim 2008, Hatay, Türkiye, 750-765.
- Tolunay, D. (2011).** Total carbon stock and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **35**(3), 265-279, DOI: [10.3906/tar-0909-369](https://doi.org/10.3906/tar-0909-369)
- USGS. (2025).** Landsat 9. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9> (10 Mayıs 2025).
- Ünsal, A., (2007).** Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisal Orman İşletme Müdürlüğü kızılçam biyokütü tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bartın, Türkiye, 62s.
- Wu, Z., Yao, F., Zhang, J., & Liu, H. (2024).** Estimating forest aboveground biomass using a combination of geographical random forest and empirical bayesian kriging models. *Remote Sensing*, **16**(11), 1-19, DOI: [10.3390/rs16111859](https://doi.org/10.3390/rs16111859)
- Xie, F., & Fan, H. (2021).** Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and Land Surface Temperature (LST): Is data reconstruction necessary? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **101**, 1-16, DOI: [10.1016/j.jag.2021.102352](https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102352)
- Zhang, X., Shen, H., Huang, T., Wu, Y., Guo, B., Liu, Z., Luo, H., Tang, J., Zhou, H., Wang, L., Xu, W., & Ou, G. (2024).** Improved random forest algorithms for increasing the accuracy of forest aboveground biomass estimation using Sentinel-2 imagery. *Ecological Indicators*, **159**, 1-11, DOI: [10.1016/j.ecolind.2024.111752](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111752)
- Zeng, N., Ren, X., He, H., Zhang, L., Zhao, D., Ge, R., Li, P., & Niu, Z. (2019).** Estimating grassland aboveground biomass on the Tibetan Plateau using a random forest algorithm. *Ecological Indicators*, **102**, 479-487. DOI: [10.1016/j.ecolind.2019.02.023](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.023)



Fusarium proliferatum: isolation, identification and evaluation of its association with the model insect *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae)

Pınar GÜNER^{1*} Aylin ER¹ Tülin ASKUN¹ Görkem Deniz SÖNMEZ² Selin Meryem ŞENGÜL¹

¹ Balıkesir University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Balıkesir, Türkiye

² Adıyaman University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Botany, Adıyaman, Türkiye

Received: 23.04.2025

Accepted: 27.06.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Güner, P., Er, A., Askun, T., Sönmez, G.D., & Şengül, S.M. (2025). *Fusarium proliferatum*: isolation, identification and evaluation of its association with the model insect *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(4), 416-423.
<https://doi.org/10.35229/jaes.1681652>

Atf yapmak için: Güner, P., Er, A., Askun, T., Sönmez, G.D., & Şengül, S.M. (2025). *Fusarium proliferatum*: izolasyonu, tanımlaması ve model böcek *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) ile ilişkisinin değerlendirilmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(4), 416-423.
<https://doi.org/10.35229/jaes.1681652>

*<https://orcid.org/0000-0001-6922-7009>
<https://orcid.org/0000-0002-8108-8950>
<https://orcid.org/0000-0002-2700-1965>
<https://orcid.org/0000-0002-3613-0195>
<https://orcid.org/0009-0002-1842-4525>

*Corresponding author's:

Pınar GÜNER
Department of Biology, Faculty of Sciences
and Arts, University of Balıkesir, Çagış
Campus, 10145, Balıkesir, Türkiye
✉: pvpcelik@hotmail.com

Abstract: The genus *Fusarium* is widely known to include important plant pathogens and mycotoxin producers. However, many *Fusarium* species have also shown promising potential for insect control. These species are characterised by high mortality rates, rapid action, and prolific sporulation, making them attractive candidates for agricultural pest control. In this study, the micro and macromorphology, DNA sequencing, and effects of *Fusarium proliferatum* isolated from soil using the trap method on the model insect *Galleria mellonella* were investigated. Morphological analyses revealed detailed colony and spore structures on different agar media. The identification of the species was confirmed by DNA analysis using ITS and CaM gene sequences. *F. proliferatum* was observed to prolong the larval stage of the model insect *G. mellonella* while reducing pupal duration, weight, and total egg production. Our results suggest that the fungus exerts a dose-dependent effect on the development and reproduction of *G. mellonella*. Future studies should focus on identifying the secondary metabolites responsible for the observed biological effects, evaluating possible effects on non-target organisms, and conducting field trials under different environmental conditions.

Keywords: *Fusarium proliferatum*, *Galleria mellonella*, developmental biology, fungal pathogenicity, identification, isolation.

Fusarium proliferatum: izolasyonu, tanımlaması ve model böcek *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) ile ilişkisinin değerlendirilmesi

*Sorumlu yazar:

Pınar GÜNER
Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi,
Biyoloji Bölümü, Çağış Kampüsü, 10145,
Balıkesir, Türkiye
✉: pvpcelik@hotmail.com

Öz: *Fusarium* cinsi, önemli bitki patojenleri ve mikotoksin üreticileri içermesiyle dikkat çekmesine rağmen birçok *Fusarium* türünün böcekleri kontrol etmede etkili olduğu ve yüksek ölüm oranlarına neden olma, hızlı etki ve bol sporlanma gibi tarımsal zararlı kontrolü için umut verici özellikler sergilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, topraktan tuzak metodu ile izole edilen *Fusarium proliferatum*'un mikro-makro morfolojisi, DNA dizilimi ve model böcek *Galleria mellonella* üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Morfolojik analizler, farklı agarlarda ayrıntılı koloni ve spor yapıları ortaya koymuştur. DNA analizi ile ITS ve CaM gen dizileri kullanılarak tür tanımlamasını doğrulanmıştır. *F. proliferatum*'un model böcek *G. mellonella* 'nın larval evresi uzattığı ve pupa süresini, ağırlığını ve toplam yumurta sayısını azalttığı gözlenmiştir. Çalışmamız fungusun *G. mellonella* 'nın gelişme ve üremesi üzerinde doza bağlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar, gözlenen biyolojik etkilerden sorumlu ikincil metabolitlerin tanımlanmasına, hedef dışı organizmalar üzerindeki olası etkilerin değerlendirilmesi ve farklı çevre koşulları altında saha denemelerinin yürütülmesine odaklanmalıdır.

Anahtar kelimeler: *Fusarium proliferatum*, fungal patojenite, *Galleria mellonella*, gelişim biyolojisi, izolasyon, tanımlama.

INTRODUCTION

Fusarium is a genus widely distributed in nature, frequently isolated from soil and various substrates, including decaying organic materials, and is known to engage in both pathogenic and non-pathogenic interactions

with plants, animals, and other living organisms (Sharma & Marques, 2018). Given their importance as plant pathogens and mycotoxin producers, *Fusarium* species have been studied over the last two centuries mainly using isolates from crop plants (Summerell & Leslie, 2011). Nevertheless, alternative environments and hosts such as natural

ecosystems, diversified agricultural systems (Laurence et al., 2015), clinical and veterinary samples (O'Donnell et al., 2010) and insects (Aoki et al., 2019) have also proven to be noteworthy sources for the study of *Fusarium* diversity. *Fusarium* species are able to interact not only with plant hosts (De Silva et al., 2017), but also with a variety of animals and even other fungi (Van Diepeningen & De Hoog, 2016; Torbati et al., 2018).

Among the various interactions between *Fusarium* species and insects, pathogenic relationships have received growing attention, with numerous studies revealing the potential of lesser-known *Fusarium* taxa as promising candidates for biological control (da Silva Santos et al., 2020). Nevertheless, the broader application of *Fusarium* in the control of agriculturally important insect pests and as a source of novel insecticidal metabolites remains limited. A key reason is the apprehension surrounding the unintentional introduction of phytopathogenic strains and their associated mycotoxins into ecosystems (O'Donnell et al., 2012). This concern is exacerbated by the taxonomic complexity of the genus, as accurate species identification necessitates a polyphasic methodology that synthesizes morphological traits, biological behaviour, and phylogenetic data (Summerell & Leslie, 2011). Although few studies have investigated the host range of entomopathogenic *Fusarium* species, the available research indicates that certain isolates the cause significant insect mortality also exhibit a degree of host specificity, and pose minimal risk to crop plants. This is attributed to the necessity for host-specific adaptations in successful parasitism (Fan et al., 2014). Furthermore, advances in molecular phylogenetics have improved the resolution of species relationships within the *Fusarium* genus and have become increasingly accessible for use in identification (Geiser et al., 2004). Several *Fusarium* species are important species that exhibit natural entomopathogenic properties, including *Fusarium acuminatum*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium merismoides*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium pseudograminearum*, *Fusarium solani*, and *Fusarium subglutinans* (Sharma & Marques, 2018).

In the current study, in addition to classical identification methods, molecular identification of *F. proliferatum* isolated from soil using the trap method was performed using calmodulin (CaM), a powerful DNA marker for rapid identification of fungi, and the Internal Transcribed Spacer (ITS) region, a non-coding DNA sequence separating the 18S, 5.8S, and 28S ribosomal RNA genes that provides good species-level resolution for *Fusarium* species. In addition, its activity on the model organism *G. mellonella* was evaluated, and a step was aimed for applications to deepen our understanding of *Fusarium*-

insect association and to explore their potential in agricultural applications.

MATERIAL AND METHOD

Rearing of *G. mellonella* larvae: The adult moths were obtained from colonies kept at the Department of Biology, Faculty of Sciences and Arts, Balıkesir University (BAUN), Turkey. The larvae were reared under controlled laboratory conditions at 30°C, 65±5% relative humidity, and a 12:12 hour light:dark cycle. They were fed with a synthetic diet consisting of 500 g wheat bran, 150 mL honey, 300 mL glycerol, 150 mL distilled water, and 200 g beeswax according to the method described by Sak and Uçkan (2009). For this study, larvae weighing 250-300 mg were specifically selected.

Isolation and trap method: In 2020, a total of ten soil samples were collected from various locations in Balıkesir, Türkiye. The samples were collected from a depth of 20–40 cm, with approximately 1 kg of soil obtained from each site. The collected samples were stored in dark at +4°C in sealed and properly labelled plastic bags (Sanchez Pena et al., 2011). For the trap method, each soil sample was transferred to 200 ml culture containers and moistened with sterile distilled water. Five *G. mellonella* larvae were then placed in each container and kept in the dark at a temperature of 26±2°C for 10 days. Larvae exhibiting signs of fungal infection were retrieved and subjected to surface sterilization by immersion in 5% sodium hypochlorite for 5 seconds, followed by rinsing in sterile distilled water. The samples were then subjected to a 5-second treatment with 70% ethanol, followed by three rinses with sterile distilled water. Subsequently, the samples were placed on blotting paper to facilitate the removal of excess moisture. The sterilized larvae were then subjected to an incubation process at a temperature of 26 ± 2°C, within Petri dishes lined with moist filter paper, for a period of 7–10 days. Subsequent isolation of pure fungal cultures was undertaken from larvae exhibiting external fungal growth during the incubation period (Padmaja et al., 2001).

Macro and micromorphology of fungi: The media used in this study included Czapek-Dox Agar (CDA, Millipore), Sabouraud Dextrose Agar (SDA, Millipore), Malt Extract Agar (MEA, Oxoid), and Potato Dextrose Agar (PDA, Millipore). These were used to determine the microscopic and macroscopic characteristics of the fungus and to obtain a conidial suspension. Inoculation was carried out using the three-point method, and the plates were incubated at 28°C for 14 days. After the incubation period, both macro-morphological and micro-morphological examinations of the fungus were conducted. The main macro-morphological features recorded included colony diameter, upper and lower surface color and surface characteristics. For the microscopic examination, various

techniques were utilized, including the Scotch tape method (Larone, 1995), the lamellar culture technique (Fujita, 2013), and the application of Lactophenol Cotton Blue solution (Sigma, Aldrich).

DNA isolation, DNA barcode sequence and phylogenetic analysis: Genomic DNA was extracted from the sample following the manufacturer's instructions using the Plant DNeasy Kit (Qiagen Inc.). Polymerase Chain Reaction (PCR) was conducted in a total reaction volume of 50 μ L. The universal primers ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') and ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') were employed to amplify the ITS region, whereas cmdD3 (5'-GACTCCCTGACCGAA GAGCA-3') and cmdA2 (5'-GCCTCGCGGATCATCTCATC-3') were used for the CaM gene, following the protocols outlined by White et al. (1990) and Sang et al. (1995). For DNA sequencing, PCR products were submitted to a commercial sequencing service for bidirectional sequencing using both forward (5') and reverse (3') primers. The obtained sequences were verified and aligned using BioEdit (Hall, 1999), a sequence alignment editor for Windows. Further confirmation was performed through BLAST analysis in the NCBI database. Phylogenetic analysis was carried out using PAUP 4.0 and BioEdit (Hall, 1999), incorporating closely related sequences from the database.

Preparation and application of conidial suspensions: Conidia were collected after 10 days of incubation on SDA at 28 °C in darkness. To harvest the spores, 10 mL of sterile water containing 0.01% Tween 20 was added to the Petri dishes, and the surface was gently scraped using a glass rod. During the preparation of the spore suspension, mycelial and agar fragments were removed by filtering the mixture through four layers of gauze into sterile 50 mL Falcon tubes. The concentration of conidia was then determined using a Thoma counting chamber under a microscope. Finally, the suspension was adjusted to the desired concentration of 1×10^9 conidia per mL (Fancelli et al., 2013).

Pathogenicity and re-isolating of fungi from *G. mellonella* larvae: Healthy larvae were used for both the control and experimental groups. The control group was inoculated with sterile physiological serum, while larvae in the experimental group were inoculated with *F. proliferatum* at a specified concentration of 10^7 conidia/mL. The efficacy of the treatment was evaluated by observing the infected insects under controlled laboratory conditions. The ten larvae that died due to the application were placed in a trap adapted from White Trap before the fungus began to develop. To make the trap, a small Petri dish (6 cm diameter) was placed in a larger Petri dishes (9 cm diameter), on which a 5 cm diameter filter paper was placed. After 15 mL of distilled water had been added to the Petri dishes, the larvae

were placed on the filter paper in the smaller Petri dishes. The larvae were incubated in Petri dishes with moist filter papers in an incubator set at $26 \pm 2^\circ\text{C}$ for 7-14 days. The sporulating dead larvae were photographed. The microorganisms isolated from these larvae were cultured on PDA plates to examine micro- and macromorphological characteristics, followed by DNA extraction (Gradmann, 2008).

Effect of *F. proliferatum* on the developmental biology of *G. mellonella*: The experiments were performed in triplicate, utilizing a total of 15 larvae. The larvae were divided into groups of five and inoculated with 2 μ L of conidial suspensions at concentrations of 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 , 1×10^8 , and 1×10^9 conidia/mL in Phosphate Buffered Saline (PBS). Control groups consisted of untreated larvae and larvae treated with 2 μ L of PBS. All groups were maintained under standardized laboratory conditions at 26°C, 60% relative humidity, and a 12:12 light:dark cycle. To investigate the effects of fungal exposure on developmental biology, various parameters were assessed, including the duration of larval and pupal stages, time to adult hatching, adult weight, adult lifespan and fecundity. The eggs laid by the adult females hatching during the experiment were collected daily. The total number of eggs produced by each female was recorded until death and counted using an Olympus SZ51 stereomicroscope (Olympus, Japan).

Statistical analysis: In the context of statistical analysis, the Levene test was employed to ascertain the normality of the data distribution, while one-way analysis of variance (ANOVA) was utilized to evaluate the significance of observed differences. The differences were separated using Tukey's honestly significant post hoc tests (HSD). Using SPSS software (SPSS 18.0 for Windows) for data analysis revealed that all tests' differences were statistically significant when $P < 0.05$.

RESULTS

Morphological identification: Colonies incubated on CYA agar at 28 °C for one week exhibit a diameter of 6–7 cm, with a woolly texture, elevated growth, and arachnoid colony edges. The sunken mycelium is well-developed and widely distributed. The colony's reverse is yellowish at the edges, red-veined in the middle, and orange at the center. On CDA, colonies reach 4.5–5 cm in diameter within one week. The colony edges are gelatinous, 1.5–2 cm wide, while the center appears cottony and slightly elevated. The colony is pinkish-white, with a reverse that is white at the edges and pinkish-white to yellow toward the center. Colonies grown on MEA at 28 °C for a week measure 4–4.5 cm in diameter. They display a woolly texture, light pink coloration at the edges and center, and a slightly elevated structure. The middle parts of the colony exhibit a cherry-purple hue. The

colony's reverse is tan in the outer regions, cherry-colored at the center, with darker tones forming a smooth surface. On PDA, colonies reach 5–6 cm in diameter in one week. They are woolly, high, and produce dusty rose-colored aerial mycelia. The colony appears vivid, transitioning from pink-dusty rose to cherry-colored at the center, with a smooth texture. Colonies incubated on SDA at 28 °C for a week measure 6–7 cm in diameter. They are woolly, whitish-mauve in color, with high aerial mycelia that darken toward the center. The colony's reverse features truncated yellow edges, a truncated brown middle section, and darker tones concentrated in the center (Figure 1). Micromorphology: Conidiophores long septate, regular 1.5-3 µm wide. Branch 12-30 x 2.5-3.5 µm, 2-3 phialides arising from branches, phialides 25-32 x 2-3.5 µm. Macroconidia borne in short chains, curved two or more compartmented. Macroconidia are the following sizes: 2-compartment 18-20 x 4-4.3 µm, 3-compartment 15-25 x 4-5 µm, 4-compartment 35-40 x 4-5 µm and 5-compartment 55-80 x 5-6 µm. Microconidia elongate ovoid, centrally swollen, posterior end rounded, 7.5-12 (15) x 3.5-6 µm. False heads (sporogonium) are globose, subglobose or clavate; diameters are 12-55 µm up to 75 µm and broader (Figure 1).

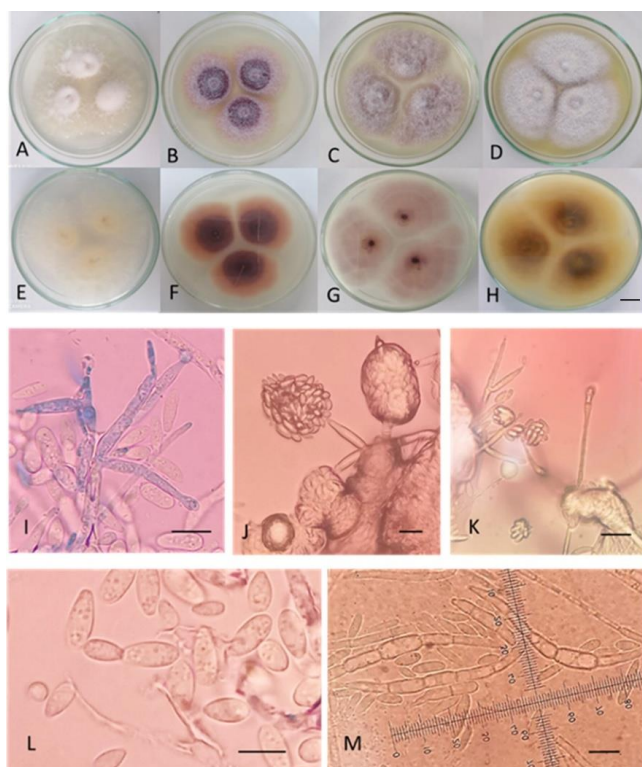


Figure 1. View of the upper surface of colonies A) CDA, B) MEA C) PDA, D) SDA; View of the bottom surface of colonies E) CDA, F) MEA G) PDA, H) SDA I) Detailed observation of conidiophores polyphialids and conidia J) False heads (sporogonium), K) An erect, Acremonium like conidiophore and false heads, L) Microconidia M) Micro and macroconidia. Bars: A-H 1 cm, I 20 µm, J-M 10 µm.

DNA isolation, management of DNA barcode sequence and phylogenetic analysis: The ITS sequence showed 100% similarity to the *F. proliferatum* ITS sequence

with the accession number PP702342 in the NCBI database. The BLAST analysis of the CaM gene also showed 100% similarity to the *F. proliferatum* AJ560773. To further support this finding and to show the position of the P4-EP19 strain, an NJ tree was constructed by using closely related sequences like *F. proliferatum*, *F. verticillioides*, *F. sacchari*, *F. annulatum*, *F. solani*, *F. subglutinans*, *F. temperatum*, *F. oxysporum*, *F. fujikuroi*, *F. circinatum*, *F. anthophilum*, *F. pseudocircinatum* and *Aspergillus clavatus* as outgroup. The tree clearly showed that the P4-EP19 strain was identified as *F. proliferatum*. The obtained sequences were registered in the NCBI GenBank with the accession numbers PQ164440 for the ITS sequence and PQ514132 for the CaM gene sequence (Table 1; Figure 2).

Table 1. List of sequences used to create the phylogenetic tree.

Taxon	ITS	Calmodulin
	Accession No.	Accession No.
<i>F. proliferatum</i>	PQ164440	PQ514132
<i>F. proliferatum</i>	PP702342.1	AJ560773.1
<i>F. annulatum</i>	OM837286.1	MN534220.1
<i>F. fujikuroi</i>	KJ000442.1	OP913274.1
<i>F. oxysporum</i>	FJ867936.1	OM282988.1
<i>F. temperatum</i>	ON209623.1	ON601574.1
<i>F. subglutinans</i>	PP336543.1	MN534166.1
<i>F. anthophilum</i>	LS422780.1	MW402368.1
<i>F. solani</i>	KY679576.1	KC964172.1
<i>F. sacchari</i>	OP740478.1	MN534226.1
<i>F. pseudocircinatum</i>	OR538655.1	GU737372.1
<i>F. verticillioides</i>	OM956055.1	LS423396.1
<i>F. circinatum</i>	PQ008590.1	MW402364.1
<i>A. clavatus</i>	KP749943.1	LC820498.1

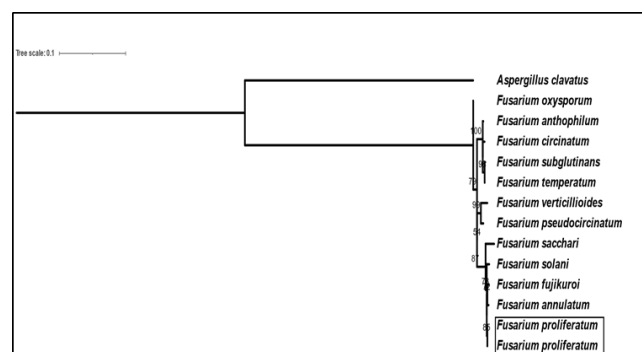


Figure 2. A phylogenetic tree (Neighbor-Joining (NJ)) was constructed using the combined CaM-ITS sequence data of the included species. The sequences of other taxa, together with their accession numbers retrieved from the NCBI database, are listed in Table 1. Branch reliability was assessed using 1,000 bootstrap repeats, and bootstrap values greater than 50% are indicated at the appropriate nodes. *Aspergillus clavatus* was used as an outgroup for the analysis.

Pathogenicity of *F. proliferatum* against *G. mellonella*: A total of five *F. proliferatum*-treated *G. mellonella* cadavers were obtained and incubated in moist petri dishes for a period of two weeks. During this time, hyphal growth and sporulation of the fungus were observed on the head, thorax and abdomen of the cadavers. Additionally, the fungus exhibited colour from bright white (Figure 3).

Re-isolating of *F. proliferatum* from *G. mellonella* larvae: The sporulating dead larvae were photographed and the fungi growing on these larvae were isolated, purified and cultured on PDA, and the micro and macromorphological

features were determined. When the purified culture was re-inoculated into healthy larvae, mycelium enveloped the larvae, resulting in death. It was confirmed that the fungal species isolated matched the initial microorganism. The results were supported by the DNA extraction method.

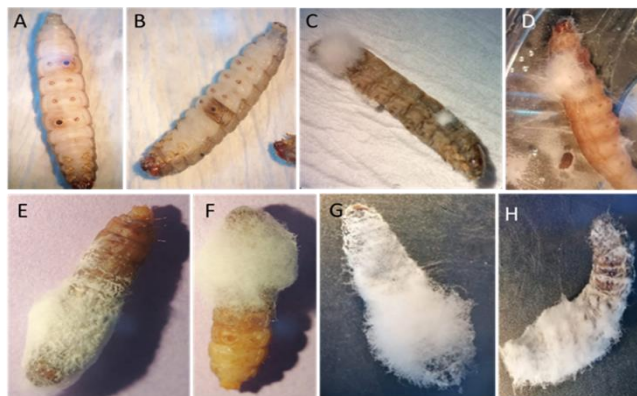


Figure 3. Pathogenicity of *F. proliferatum* against *G. mellonella*. A and B: Before fungal growth begins dead larvae (day 5), C and D: The hyphal growth and sporulation of the fungus in different larvae on day 7 after death, E and F: Other dead larvae for 10 days after death showing the sporulation of fungus, G and H: dead larvae for 14 days after death showing the sporulation of fungus.

Effect of *F. proliferatum* on the developmental biology of *G. mellonella*:

The effects of conidial suspensions at varying concentrations on the larval and pupal periods of *G.*

mellonella larvae are presented in Table 2. The data reveals significant increases in the larval period at conidial doses of 10^6 , 10^7 , 10^8 , and 10^9 conidia/mL compared to the control ($F = 8.934$; $df = 6$. 121; $p = 0.000$). While there was no significant difference between the two control groups and 10^5 conidia/mL during the larval period, the increase observed between 10^5 and the higher doses (10^7 , 10^8 , and 10^9 conidia/mL) was statistically significant. In terms of the pupal period, a highly significant decrease was observed at these doses (10^6 , 10^7 , 10^8 , and 10^9 conidia/mL) compared to the control groups ($F = 6.024$; $df = 6$. 121; $p = 0.000$). No statistically significant differences were observed in the adult emergence time ($F = 3.109$; $df = 6$. 121; $p = 0.067$) and longevity ($F = 30.273$; $df = 6$. 121; $p = 0.317$) at any of the conidial doses compared to the control (Table 3). Significant increases in weight were observed in all treatment groups, including the PBS-control and conidial doses ranging from 10^5 to 10^9 conidia/mL, compared to the control group ($F = 4.625$; $df = 6$. 121; $p = 0.000$). In the number of eggs data, significant reductions were observed in the PBS-control group and at all other doses compared to the control group; however, the reduction at the 10^6 conidia/mL dose was not statistically significant ($F = 13.146$; $df = 6$. 121; $p = 0.000$). Additionally, the reduction in number of eggs between the lowest doses (10^5 conidia/mL) and the highest doses (10^9 conidia/mL) was statistically significant (Table 4).

Table 2. Changes in the larval and pupal period of *G. mellonella*.

	LARVAL STAGE (DAY)		PUPAL STAGE (DAY)	
	Min.-Max.	$\bar{X} \pm SH^*$	Min.-Max.	$\bar{X} \pm SE^*$
Control	1-2	$1.86 \pm 0.09a$	14-17	$15.53 \pm 0.27a$
PBS-Control	2-3	$2.06 \pm 0.06ab$	10-26	$14.33 \pm 0.99a$
10^5 conidia/mL	2-16	$3.57 \pm 0.61abc$	2-51	$11.50 \pm 1.75ab$
10^6 conidia/mL	2-28	$7.47 \pm 1.81bcd$	2-14	$8.26 \pm 0.61b$
10^7 conidia/mL	3-28	$10.05 \pm 1.75d$	3-14	$9.11 \pm 0.99b$
10^8 conidia/mL	2-15	$8.87 \pm 1.19cd$	5-14	$9.06 \pm 0.55b$
10^9 conidia/mL	7-28	$11.86 \pm 1.45d$	4-12	$8.60 \pm 0.55b$

The means ($\bar{X}$) in each column that share the same letter are not significantly different ($P > 0.05$; Tukey's HSD test); SE: Standard error.

Table 3. Changes in the adult emergence time and adult longevity of *G. mellonella*.

	ADULT EMERGENCE TIME (DAY)		ADULT LONGEVITY (DAY)	
	Min.-Max.	$\bar{X} \pm SH^*$	Min.-Max.	$\bar{X} \pm SE^*$
Control	19-57	$27.06 \pm 2.53a$	5-20	$12.66 \pm 1.28a$
PBS-Control	15-57	$27.73 \pm 3.27a$	10-26	$15.73 \pm 1.25a$
10^5 conidia/mL	9-65	$23.84 \pm 2.91a$	2-21	$13.15 \pm 1.03a$
10^6 conidia/mL	9-78	$19.13 \pm 3.04a$	1-21	$11.82 \pm 1.03a$
10^7 conidia/mL	8-25	$16.94 \pm 1.16a$	2-21	$11.83 \pm 1.21a$
10^8 conidia/mL	12-21	$17.31 \pm 0.59a$	8-21	$13.56 \pm 0.90a$
10^9 conidia/mL	12-31	$16.93 \pm 1.49a$	2-23	$12.33 \pm 1.57a$

The means ($\bar{X}$) in each column that share the same letter are not significantly different ($P > 0.05$; Tukey's HSD test); SE: Standard error.

Table 4. The variation in the weight and the number of eggs of *G. mellonella*.

	WEIGHT (mg)		NUMBER OF EGGS	
	Min.-Max.	$\bar{X} \pm SH^*$	Min.-Max.	$\bar{X} \pm SE^*$
Control	15.80-88.40	$37.01 \pm 4.62a$	262-366	$321.87 \pm 14.03a$
PBS-Control	24.30-96.60	$65.68 \pm 5.80b$	6-444	$185.30 \pm 42.29bc$
10^5 conidia/mL	36.30-98.30	$59.43 \pm 3.67b$	5-325	$205.05 \pm 22.29bc$
10^6 conidia/mL	17.40-114.30	$61.83 \pm 5.58b$	102-365	$259.61 \pm 21.55ab$
10^7 conidia/mL	31.00-101.90	$65.32 \pm 4.29b$	1-306	$108.50 \pm 26.14cd$
10^8 conidia/mL	49.30-137.80	$76.69 \pm 6.20b$	5-146	$64.08 \pm 14.68d$
10^9 conidia/mL	27.10-103.10	$60.88 \pm 5.79b$	2-108	$70.44 \pm 11.49d$

The means ($\bar{X}$) in each column that share the same letter are not significantly different ($P > 0.05$; Tukey's HSD test); SE: Standard error

DISCUSSION

Fungi are genetically and morphologically distinct from other organisms, such as plants and animals, which make their identification and classification a complex task. To overcome these challenges, alternative molecular diagnostic methods, such as polymerase chain reaction (PCR), have been developed. These methods use species-specific primers to effectively differentiate fungal taxa to species level. DNA barcoding, a modern molecular biology technique, has been introduced to overcome these difficulties (Geiser et al., 2004; Nilsson et al., 2019). In our study, genomic DNA of the fungus isolated from the soil by the trap method was extracted, PCR was performed, and sequences were validated by BLAST analysis from the NCBI database, followed by phylogenetic analysis. *F. proliferatum* is assigned to the *F. fujikuroi* species complex, alongside *F. verticillioides*, *F. subglutinans*, and *F. anthropilum*. *F. proliferatum* shares many characteristics with *F. verticillioides*, with the exception that its microconidia are formed in short chains and have false heads on both monophialides and polyphialides. Several studies have emphasised the usefulness of the EF-1 α gene (O'Donnell et al., 1998) for species identification. In addition, the internal transcribed spacer (ITS) region of ribosomal DNA (Gurjar et al., 2009) and the β -tubulin gene (Azor et al., 2009) have been used for identifying various *Fusarium* species. In this study, morphological characterization, combined with the analysis of ITS sequences and the CaM gene, confirmed the identification of *F. proliferatum* in agreement with morphological features.

Fusarium species, which are pathogenic to insects, can infect a wide range of hosts, including those from the orders Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, and Lepidoptera (da Silva Santos et al., 2020). The isolation of *Fusarium* species from different developmental stages of insects is important to understand their entomopathogenic potential. For this purpose, samples are taken from different life stages (larvae, pupae, and adults) and specific culture techniques are applied to identify the fungal species (Vannini et al., 2017). In the current study, conidial suspensions were applied to the larvae of the model insect *G. mellonella* to evaluate the pathogenicity of *F. proliferatum*. The efficacy of the treatment was monitored between the seventh and fourteenth day after application. No mortality was observed before the fifth day, and the lethargy and immobility observed in the infected larvae began after this period. Our research also assessed how *F. proliferatum* affects the normal development and reproductive processes of *G. mellonella*. The application of different conidial suspension concentrations to late-stage larvae caused changes in larval and pupal periods, weight, and egg counts

compared to the control. Kuruvilla and Jacob (1979; 1980) had previously observed that certain *Fusarium* strains exhibit high pathogenicity in insects, noting that a 100% mortality rate was achieved within three days of applying *F. oxysporum* to the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens*, Delphacidae: Homoptera). Thangam et al. (2014) identified *F. proliferatum* as an entomopathogenic agent associated with mango hopper species, using sequencing of the Translation Elongation Factor-1 α (EF-1 α) gene. Similarly, Tosi et al. (2015) isolated *F. proliferatum* from a gall wasp and suggested its potential as a biological control agent against the Asian chestnut gall wasp (*Dryocosmus kuriphilus*, Hymenoptera: Cynipidae). In a separate study, Ganassi et al. (2001) observed that *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) nymphs exhibited mortality within 18 to 24 hours following exposure to *F. proliferatum*.

One of the main problems with the use of *Fusarium* in biological control is the potential unintentional release of phytopathogens into the environment (O'Donnell et al., 2012), as many species of this genus are known to cause plant diseases (Summerell & Leslie, 2011). In order to utilise *Fusarium* strains for insect control, it is important to evaluate the species in terms of their host specificity. The specificity of entomopathogenic fungi varies significantly not only between genera and species, but also among strains of the same species. For biocontrol applications, the isolate is more crucial than the species entity itself (Goettel et al., 2010), therefore the potential for strain-level interactions needs to be investigated (Leger et al., 2011). In our study, an isolate of *F. proliferatum* identified and isolated by the trap method was tested on a model organism to serve as a preliminary step for more targeted research.

CONCLUSION

In conclusion, the study of *Fusarium* species associated with insects provides new insights into their ecology and advances knowledge of *Fusarium* diversity and taxonomy. Despite the mounting evidence from numerous studies that these fungi have considerable potential for use in insect control, there is a paucity of research investigating several key areas. These include the specificity of these fungi for host insects, the production of undesirable secondary metabolites, and the side effects and safety tests with non-target organisms. Consequently, these aspects need to be carefully evaluated for all *Fusarium* species that are candidates for biological control.

ACKNOWLEDGEMENTS

Our work was financially supported by TUBITAK-1001, The Scientific and Technological

Research Projects Funding Program (122O398) and TUBITAK 2209-A Research Project Support Program for Undergraduate Students.

REFERENCES

- Aoki, T., Smith, J.A., Kasson, M.T., Freeman, S., Geiser, D.M., Geering, A.D., & O'Donnell, K. (2019). Three novel *Ambrosia Fusarium* Clade species producing clavate macroconidia known (*F. floridanum* and *F. obliquiseptatum*) or predicted (*F. tuaranense*) to be farmed by *Euwallacea* spp. (Coleoptera: Scolytinae) on woody hosts. *Mycologia*, **111**(6), 919-935. DOI: [10.1080/00275514.2019.1647074](https://doi.org/10.1080/00275514.2019.1647074)
- Azor, M., Gené, J., Cano, J., Manikandan, P., Venkatapathy, N., & Guarro, J. (2009). Less-frequent *Fusarium* species of clinical interest: correlation between morphological and molecular identification and antifungal susceptibility. *Journal of Clinical Microbiology*, **47**(5), 1463-1468. DOI: [10.1128/JCM.02467-08](https://doi.org/10.1128/JCM.02467-08)
- da Silva Santos, A.C., Diniz, A.G., Tiago, P.V., & de Oliveira, N.T. (2020). Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications and prospects. *Fungal Biology Reviews*, **34**(1), 41-57. DOI: [10.1016/j.fbr.2019.12.002](https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.002)
- De Silva, D.D., Crous, P.W., Ades, P.K., Hyde, K.D., & Taylor, P.W. (2017). Life styles of *Colletotrichum* species and implications for plant biosecurity. *Fungal Biology Reviews*, **31**(3), 155-168. DOI: [10.1016/j.fbr.2017.05.001](https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.05.001)
- Fan, J.H., Xie, Y.P., Xue, J.L., Xiong, Q., Jiang, W.J., Zhang, Y., & Ren, Z. (2014). The strain HEB01 of *Fusarium* sp., a new pathogen that infects brown soft scale. *Annals of Microbiology*, **64**, 333-341. DOI: [10.1007/s13213-013-0668-z](https://doi.org/10.1007/s13213-013-0668-z)
- Fancelli, M., Dias, A.B., Delalibera, I.J., Cerqueira de Jesus, S., Souza do Nascimento, A., & Oliveira e Silva, S. (2013). *Beauveria bassiana* Strains for Biological Control of *Cosmopolites sordidus* (Germ.) (Coleoptera: Curculionidae) in Plantain. *BioMed Research International*, **2013**(1), 184756. DOI: [10.1155/2013/184756](https://doi.org/10.1155/2013/184756)
- Fujita, S. (2013). Simple modified method for fungal slide preparation. *Journal of Medical Mycology*, **54**(2), 141-146. DOI: [10.3314/mmj.54.141](https://doi.org/10.3314/mmj.54.141)
- Ganassi, S., Moretti, A., Stornelli, C., Fratello, B., Bonvicini Pagliai, A.M., Logrieco, A., & Sabatini, M.A. (2001). Effect of *Fusarium*, *Paecilomyces* and *Trichoderma* formulations against aphid *Schizaphis graminum*. *Mycopathologia*, **151**, 131-138. DOI: [10.1023/a:1017940604692](https://doi.org/10.1023/a:1017940604692)
- Geiser, D.M., del Mar Jiménez-Gasco, M., Kang, S., Makalowska, I., Veeraraghavan, N., Ward, T.J., & O'donnell, K. (2004). FUSARIUM-ID v. 1.0: A DNA sequence database for identifying *Fusarium*. *European Journal of Plant Pathology*, **110**, 473-479. DOI: [10.1023/B:EJPP.0000032386.75915.a0](https://doi.org/10.1023/B:EJPP.0000032386.75915.a0)
- Goettel, M.S., Eilenberg, J., & Glare, T. (2010). Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations. In: Gilbert, L.I. & Gill, S.S. (Eds.), *Insect Control: Biological and Synthetic Agents*, 387-432p, Academic Press., Cambridge.
- Gradmann, C. (2008). A matter of methods: the historicity of Koch's postulates. *Medical Journal*, **43**(2), 121-148. <https://www.jstor.org/stable/25805450>
- Gurjar, G., Barve, M., Giri, A., & Gupta, V. (2009). Identification of Indian pathogenic races of *Fusarium oxysporum* f. sp. Ciceris with gene specific, ITS and random markers. *Mycologia*, **101**, 484-495. DOI: [10.3852/08-085](https://doi.org/10.3852/08-085)
- Hall, T.A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for windows 95/98/NT. In *Nucleic acids symposium series*, **41**, 95-98.
- Kuruvilla, S., & Jacob, A. (1979). Comparative susceptibility of nymphs and adults of *Nilaparvata lugens* to *Fusarium oxysporum* and its use in microbial control. *Agricultural Research Journal Kerala*, **17**, 287-288.
- Kuruvilla, S., & Jacob, A. (1980). Studies on *Fusarium oxysporum* Schlecht infecting rice brown plant hopper. *Agricultural Research Journal Kerala*, **18**, 51-54.
- Larone, D.H. (1995). *Medically Important Fungi, A Guide to Identification* (3rd ed.). American Society for Microbiology, Washington.
- Laurence, M.H., Walsh, J.L., Shuttleworth, L.A., Robinson, D.M., Johansen, R.M., Petrovic, T., Vu, T.H., Burgess, L.W., Summerell, B.A., & Liew, E.C.Y. (2015). Six novel species of *Fusarium* from natural ecosystems in Australia. *Fungal Diversity*, **77**, 349-366. DOI: [10.1007/s13225-015-0337-6](https://doi.org/10.1007/s13225-015-0337-6)
- Leger, R.J.S., Wang, C., & Fang, W. (2011). New perspectives on insect pathogens. *Fungal Biology Reviews*, **25**, 84-88. DOI: [10.1016/j.fbr.2011.04.005](https://doi.org/10.1016/j.fbr.2011.04.005)
- Nilsson, R.H., Larsson, K.H., Taylor, A.F.S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T.S., Schigel, D., & Abarenkov, K. (2019). The UNITE database for molecular identification of fungi: handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. *Nucleic Acids Research*, **47**(D1), D259-D264. DOI: [10.1093/nar/gky1022](https://doi.org/10.1093/nar/gky1022)
- O'Donnell, K., Humber, R.A., Geiser, D.M., Kang, S., Park, B., Robert, V.A.R.G., Crous, P.W., Johnston, P.R., Aoki, T., Rooney, A.P. & Rehner, S.A. (2012). Phylogenetic diversity of insecticulous fusaria inferred from multilocus DNA sequence data and their molecular identification via FUSARIUM-ID and Fusarium MLST. *Mycologia*, **104**, 427-445. DOI: [10.3852/11-179](https://doi.org/10.3852/11-179)

- O'Donnell, K., Sutton, D.A., Rinaldi, M.G., Sarver, B.A.J., Balajee, S.A., Schroers, H., Summerbell, R.C., Robert, V.A.R.G., Crous, P.W., Zhang, N., Aoki, T., Jung, K., Park, J., Lee, Y., Kang, S., Park, B., & Geiser, D.M. (2010). Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. *Journal of Clinical Microbiology*, **48**, 3708-3718. DOI: [10.1128/JCM.00989-10](https://doi.org/10.1128/JCM.00989-10)
- O'Donnell, K., Cigelnik, E. & Casper, H.H. (1998). Molecular phylogenetic, morphological, and mycotoxin data support reidentification of the Quorn mycoprotein fungus as *Fusarium venenatum*. *Fungal Genetic Biology*, **23**, 57-67. DOI: [10.1006/fgbi.1997.1018](https://doi.org/10.1006/fgbi.1997.1018)
- Padmaja G.K.V. (2001). Use of the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill (Moniliales: Deuteromycetes) for controlling termites. *Current Science*, **81**(6), 647-647.
- Sak, O., & Uçkan, F. (2009). Cypermethrinin *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae)'nın Puplaşma ve Ölüm Oranlarına Etkisi. *Uludag Bee Journal*, **9**(3), 88-96.
- Sanchez-Pena, S.R., Lara, J.S.J., & Medina, R.F. (2011). Occurrence of entomopathogenic fungi from agricultural and natural ecosystems in Saltillo, México, and their virulence towards thrips and whiteflies. *Journal of Insect Science*, **11**, 1. DOI: [10.1673/031.011.0101](https://doi.org/10.1673/031.011.0101)
- Sang, T., Crawford, D.J., & Stuessy, T.F. (1995). Documentation of reticulate evolution in peonies (Paeonia) using internal transcribed spacer sequences of nuclear ribosomal DNA: Implications for biogeography and concerted evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **92**, 6813-6817. DOI: [10.1073/pnas.92.15.681](https://doi.org/10.1073/pnas.92.15.681)
- Sharma, L., & Marques, G. (2018). *Fusarium*, an entomopathogen-a myth or reality? *Pathogens*, **7**(4). DOI: [10.3390/pathogens7040093](https://doi.org/10.3390/pathogens7040093)
- Summerell, B.A., & Leslie, J.F. (2011). Fifty years of *Fusarium*: how could nine species have ever been enough? *Fungal Diversity*, **50**, 135-144. DOI: [10.1007/s13225-011-0132-y](https://doi.org/10.1007/s13225-011-0132-y)
- Thangam, S.D., Selvakumar, G., Verghese, A., Kamala, K., & Jayanthi, P.D. (2014). Natural mycosis of mango leafhoppers (Cicadellidae: Hemiptera) by *Fusarium* sp. *Biocontrol Science and Technology*, **24**(2), 229-232. DOI: [10.1080/09583157.2013.851171](https://doi.org/10.1080/09583157.2013.851171)
- Torbati, M., Arzanlou, M., Sandoval-Denis, M., & Crous, P.W. (2018). Multigene phylogeny reveals new fungicolous species in the *Fusarium tricinctum* species complex and novel hosts in the genus *Fusarium* from Iran. *Mycological Progress*, **18**, 119-133. DOI: [10.1007/s11557-018-1422-5](https://doi.org/10.1007/s11557-018-1422-5)
- Tosi, L., Beccari, G., Rondoni, G., Covarelli, L., & Ricci, C. (2015). Natural occurrence of *Fusarium proliferatum* on chestnut in Italy and its potential entomopathogenicity against the Asian chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. *Journal of Pest Science*, **88**, 369-381. DOI: [10.1007/s10340-014-0624-0](https://doi.org/10.1007/s10340-014-0624-0)
- Van Diepeningen, A. D. & de Hoog, G.S. (2016). Challenges in *Fusarium*, a Trans-Kingdom Pathogen. *Mycopathologia*, **181**, 161-163. DOI: [10.1007/s11046-016-9993-7](https://doi.org/10.1007/s11046-016-9993-7)
- Vannini, A., Vettrainoa, A., Martignonia, D., Morales Rodriguezc, C., Contarini, M., Caccia Paparatti, B., & Speranza, S. (2017). Does *Gnomoniopsis castanea* contribute to the natural biological control of chestnut gall wasp? *Fungal Biology*, **121**, 44-52. DOI: [10.1016/j.funbio.2016.08.013](https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.08.013)
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J.W. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J. J. & White T. J. (eds.) *PCR Proto-cols: A Guide to Methods and Applications*, 315-322p. Academic Press, Inc., New York.



A Preliminary Study on Seasonal Changes in the Feeding Ecology and Growth Patterns of the Lessepsian Red Sea Goatfish *Parupeneus forsskali* Fourmanoir & Guézé, 1976 in the Gulf of Antalya, Eastern Mediterranean

Betül BARAN¹ Abdullah ÖZ¹ İlayda GÜVEN¹ Nehir KAYMAK^{1*}

¹ Akdeniz University, Faculty of Science, Department of Biology, Antalya, Türkiye

Received: 29.04.2025

Accepted: 27.06.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Baran, B., Öz, A., Güven İ., & Kaymak, N. (2025). A Preliminary Study on Seasonal Changes in the Feeding Ecology and Growth Patterns of the Lessepsian Red Sea Goatfish *Parupeneus forsskali* Fourmanoir & Guézé, 1976 in the Gulf of Antalya, Eastern Mediterranean. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 424-430. <https://doi.org/10.35229/jaes.1686013>

Atıf yapmak için: Baran, B., Öz, A., Güven İ., & Kaymak, N. (2025). Doğu Akdeniz, Antalya Körfezi'nde Lessepsiye Kızıldeniz Keçi Balığı (*Parupeneus forsskali*)'nın Beslenme Ekolojisi ve Büyüme Özelliklerindeki Mevsimsel Değişimler Üzerine Ön Çalışma. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 424-430. <https://doi.org/10.35229/jaes.1686013>

*<https://orcid.org/0000-0002-9970-4467>
<https://orcid.org/0009-0001-7972-556X>
<https://orcid.org/0009-0008-7568-5549>
<https://orcid.org/0009-0000-8634-6587>

*Corresponding author's:
Nehir KAYMAK
Akdeniz University, Faculty of Science,
Department of Biology, Antalya, Türkiye
✉: nehirkaymak@akdeniz.edu.tr

Abstract: The Red Sea goatfish, *Parupeneus forsskali* Fourmanoir & Guézé, 1976, is endemic to the Red Sea and the Gulf of Aden and is a Lessepsian species that entered the East Mediterranean through the Suez Canal in the early 2000s. This study aimed to determine the changes in the feeding ecology and growth characteristics of *P. forsskali* distributed in the Gulf of Antalya during two seasons. Statistical analyses revealed that individuals caught in the winter season were heavier and longer than those caught in the autumn season. In autumn, they exhibited high condition with negative allometric growth, whereas in winter, they showed low condition with positive allometric growth. The dietary habits of the species were analyzed through stomach content analysis (F%, N%, W%, and IRI), which revealed a strong preference for crustaceans, particularly Mysida and Euphausiacea. Additionally, seasonal variations were observed in diet proportions and diversity. The contribution of crustaceans to the diet decreased in winter compared to autumn, while diet diversity increased. This preliminary study provides initial insights into the feeding ecology and growth patterns of *P. forsskali*, laying the groundwork for future comprehensive research that will further support stock management and ecosystem conservation efforts.

Keywords: Condition factor, feeding ecology, lessepsian species, *Parupeneus forsskali*, stomach content analysis.

Doğu Akdeniz, Antalya Körfezi'nde Lessepsiye Kızıldeniz Keçi Balığı *Parupeneus forsskali*'nin Beslenme Ekolojisi ve Büyüme Özelliklerindeki Mevsimsel Değişimler Üzerine Ön Çalışma

Öz: Kızıldeniz keçi balığı, *Parupeneus forsskali* Fourmanoir & Guézé, 1976, Kızıldeniz ve Aden Körfezi'ne endemik olup, Suez Kanalı aracılığıyla 2000'li yılların başında Doğu Akdeniz'e giren bir Lessepsian türüdür. Bu çalışma, Antalya Körfezi'nde dağılan *P. forsskali*'nin beslenme ekolojisi ve büyüme özelliklerindeki değişiklikleri iki sezon boyunca belirlemeyi amaçlamıştır. İstatistiksel analizler, kış sezonunda yakalanan bireylerin, sonbahar sezonunda yakalananlardan daha ağır ve uzun olduğunu ortaya koymuştur. Sonbaharda, negatif allometrik büyüme ile yüksek kondüsyon sergilerken, kışın, pozitif allometrik büyüme ile düşük kondüsyon gösterdikleri gözlemlenmiştir. Türün beslenme alışkanlıkları, mide içeriği analizi (F%, N%, W% ve IRI) yoluyla incelenmiş ve karideslere, özellikle Mysida ve Euphausiacea'ya güçlü bir tercih gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, diyet oranları ve çeşitliliğinde mevsimsel değişiklikler gözlemlenmiştir. Karideslerin diyet katkısı, sonbahara kıyasla kışın azalmış, diyet çeşitliliği ise artmıştır. Bu ön çalışma, *P. forsskali*'nin beslenme ekolojisi ve büyüme kalıpları hakkında ilk bilgileri sunmakta olup, stok yönetimi ve ekosistem koruma çabalarını daha da destekleyecek ileri düzey araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Beslenme ekolojisi, kondüsyon faktörü, lessepsian türler, mide içeriği analizi, *Parupeneus forsskali*.

*Sorumlu yazar:
Nehir KAYMAK
Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji
Bölümü, Antalya, Türkiye.
✉: nehirkaymak@akdeniz.edu.tr

INTRODUCTION

The Mediterranean Basin is a semi-enclosed system with highly complex ecosystems (Tsadok et al., 2023). In 1869, the construction of the Suez Canal allowed many alien fish species to enter the Mediterranean waters and establish populations (Turan et al., 2016; Zenetos & Galanidi, 2020). So far, researchers have recorded 150 alien fish species that have settled and established populations in the Mediterranean Sea, over 100 of which originate from the Red Sea (Gilaad et al., 2017). Introducing alien species into a new ecosystem has been reported to negatively affect existing biodiversity and ecosystem health (Yılmaz & Demirhan, 2020). In addition, they also alter the food web dynamics, reshape the community structure, and impact the ecosystem functions of the system they invade (Gilaad et al., 2017; Goren et al., 2016). The Red Sea goatfish *P. forsskali* Fourmanoir & Guézé, 1976, is endemic to the Red Sea and Gulf of Aden (Randall, 2004). *P. forsskali* is a species of the Mullidae family that entered the Mediterranean waters through the Suez Canal (Turan et al., 2016; Zenetos & Galanidi, 2020). *P. forsskali* is a relatively large species within the goatfish family, capable of growing up to 28 cm in length, and is one of the most common goatfish species in the Red Sea; it inhabits sandy areas between coral reefs (Hüseyinoğlu et al., 2023). In local populations of *P. forsskali*, individuals have been reported to live up to five years, reach a total length of 28.5 cm, and attain sexual maturity at 14.2 cm for males and 11.8 cm for females (Saemundsson et al., 2023). The Mullidae family includes about 99 species with a cosmopolitan distribution in the Atlantic, Pacific, and Indian Oceans, and most of these species have commercial value in the fish market (Froese & Pauly, 2022). Currently, there are two native (*Mullus surmuletus* - red mullet; *M. barbatus* - red mullet) and three alien goatfish species (*Parupeneus forsskali* - Red Sea goatfish; *Upeneus moluccensis* - goldbanded goatfish; *Upeneus pori* - Por goatfish) in the Mediterranean (Özvarol & Tatlıses, 2018). Especially in the shelf area of Antalya Gulf, a distinct depth segregation was observed in the distribution of species belonging to the genera *Mullus* and *Upeneus*. Furthermore, morphometric parameters (length-based measurements and growth parameters) of these species increased from the eastern to the western Mediterranean (Mutlu et al., 2022). Although the first confirmed record of *P. forsskali* in the Mediterranean was from Beirut, it has also been observed visually along the southeastern coast of Turkey (Bariche et al., 2013). This species has replaced native goatfish species in many areas and has become an important commercial fish in the eastern basin (Evagelopoulou et al., 2020). *P. forsskali* was first reported from Taşucu-Mersin in 2000 (Çınar et al., 2006), followed by Iskenderun Bay (Gürlek et al., 2016), Antalya

Bay (Gokoglu & Teker, 2016), and Muğla coast (Ergüden et al., 2018; Yapici & Filiz, 2017). Researchers have reported that this Lessepsian species spreads continuously and quickly establishes new populations along the Mediterranean coast of Turkey (Ergüden et al., 2018). Lessepsian species can often spread rapidly in new habitats like the Mediterranean and compete with native species. Data on the dietary characteristics of these species allows us to understand which native species they compete with, their place in the food chain, and, indirectly, their impact on other species. We also need to know their growth characteristics to predict how fast their populations can increase and their long-term environmental impacts. Some previous studies have reported morphometric and meristic characteristics (Gürlek et al., 2016), age and growth characteristics (Turan et al., 2021), biological (Vagenas et al. 2023) and feeding characteristics (Evagelopoulou et al., 2020; Michail et al., 2024) and reproductive characteristics (Saemundsson et al., 2023) of *P. forsskali* populations in Iskenderun Bay. However, based on the available biological and ecological information, researchers do not categorize *P. forsskali* as an "invasive species" but only as an "alien species." They have not recorded it causing detrimental changes to the organisms it coexists with or the marine habitat (Vagenas et al., 2023). However, more extensive studies may change this information, so continued monitoring and research on the biological and ecological characteristics of the species is needed. Unfortunately, there is no data on the feeding ecology and growth characteristics of the populations of *P. forsskali* distributed in the Gulf of Antalya. Therefore, this study aimed to determine the changes in the condition, growth, and feeding characteristics of *P. forsskali* populations in the Gulf of Antalya during two seasons.

MATERIAL AND METHOD

The Red Sea goatfish *P. forsskali* samples were caught by commercial fishing vessels around Sican Island in the Gulf of Antalya during the autumn (n=8) and winter (n=26) seasons. The fish samples were obtained as dead specimens from local commercial fishermen and brought to the Akdeniz University Biology Department, Hydrobiology Laboratory. In the laboratory, fish were fixed in 10% formaldehyde solution. Fish weights (W) and standard lengths (SL) were measured to the nearest 0.01 g and 1.0 mm, respectively. The relationships between total length and body weight were calculated for two seasons using a least squares linear model (LWR Ricker, 1975; Froese, 2006). The equation parameters $W = aL^b$ were estimated based on logarithmically transformed data: $\log W = \log a + b \log TL$, where W is the total body weight (g), TL is the total length (cm), a is the intercept, and b is the regression coefficient; the regression parameters a and b's 95% confidence intervals

(CI) and the regression coefficient (r^2) were determined using Past 4.03 software. Whether the b value in LWR was statistically different from "3" was tested with the Chi-Square test. Relative condition factor (CF, Le Cren, 1951) of the individuals in the fish population were compared seasonally: $CF = W_t / W_t'$, where W_t represents body weight, W_t' is the weight estimated based on the standard length and weight relationship ($W_t' = aL^b$) from the linear regression model. The stomach and intestine of each individual were removed from the abdominal cavity to analyze the fish's stomach contents. The weight (GW, g) and length (GL, cm) of the digestive tract of each individual were measured. The Relative Gut Length ($RGL = GL/SL$) index was calculated to reveal the fish individuals' feeding habits and dietary diversity. In general, $RGL < 1$ is considered Carnivore, $RGL > 3$ Herbivore, $1 < RGL < 3$ Omnivore (Karachle & Stergiou, 2010). The stomach contents of all individuals were determined under a stereo microscope using a gravimetric method. For this purpose, stomachs were dissected from fish, excess water was removed with absorbent paper, and then taxonomically classified. The gut contents were analyzed using the Index of Relative Importance (IRI), as proposed by Hyslop (1980), to quantify the dietary significance of different prey categories. The IRI was calculated using the

following formula: $IRI = F\% (W\% + N\%)$. $F\%$ is the frequency of occurrence of a prey item in the total number of stomachs examined, $N\%$ is the numerical percentage of the prey item relative to the total number of prey items, and $W\%$ is the gravimetric percentage (by weight) of the prey item relative to the total weight of all prey items. To facilitate comparison among prey categories, the IRI values were subsequently standardized to percentages (IRI%) using the formula: $(IRI_j / \sum_{j=1}^n IRI_j) \times 100$, where IRI_j is the IRI value of prey item j . This index combines frequency, number, and weight to give a more integrated measure of prey importance. Since the fish data did not meet the assumptions of normal distribution (Shapiro-Wilk test) and homogeneity of variances (Levene's test), the Chi-Square Test was applied to assess seasonal differences in the data.

RESULTS

In this study, a total of 34 *P. forsskali* individuals were sampled from the Gulf of Antalya during two seasons. Ranges of standard length and weight of *P. forsskali* along two seasons were 9-12 cm and 15-45 g, respectively (Figure 1).

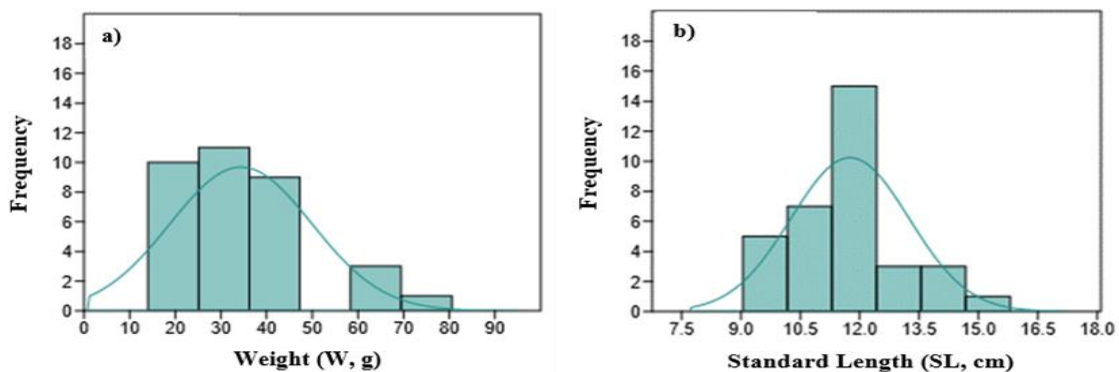


Figure 1. a) Weight and b) Standard length distributions of *P. forsskali* in the Gulf of Antalya.

There were significant differences between the length and weight of fish in the autumn and winter (SL , $\chi^2 = 11.88$; $df = 1.33$; $P = 0.002$; W , $\chi^2 = 15.29$; $df = 1.33$; $P = 0.0001$, respectively). Individuals from the winter season had higher weights and longer lengths than individuals from the autumn (Figure 2).

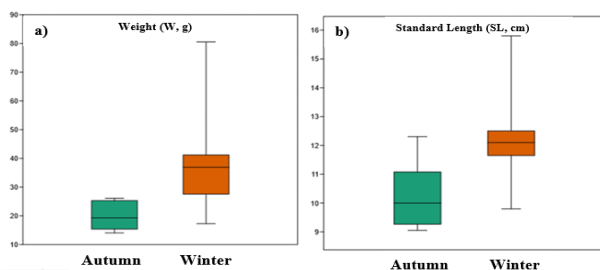


Figure 2. Seasonal distribution of standard length (a) and body weight (b) of *P. forsskali* (horizontal lines and long vertical bars in the colored box represent mean values and standard deviations, respectively).

Although the sample size for autumn ($n = 8$) was limited, the data are presented separately to reflect the seasonal framework of the study. These results should be interpreted with caution and seen as preliminary. According to the results of statistical analysis, individuals from the winter season showed positive allometric growth ($b > 3$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.92$), and the "a" value was 0.03. In contrast, individuals from the autumn season showed negative allometric growth ($b < 3$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.93$), and the "a" value was 0.007 (Figure 3). The chi-square test also revealed significant differences in the relative condition factors (CF) of fish between autumn and winter seasons ($\chi^2 = 72.31$; $df = 1.33$; $P < 0.0001$). The mean condition factor (CF: 1.03) of individuals from the autumn season was higher than that from the winter season (CF: 0.75).

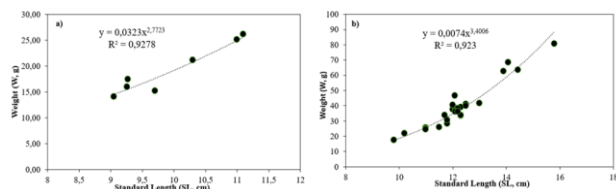


Figure 3. Length-weight relationship (LWR) parameters of *P. forsskali* individuals sampled in (a) autumn (n=8) and (b) winter (n=26) seasons.

The mean gut length of *P. forsskali* was 0.72 ± 0.08 cm in autumn and 0.98 ± 0.17 cm in winter. The mean relative gut length index of *P. forsskali* showed seasonal variation and was higher in the winter than in the autumn ($\chi^2 = 17.06$; $df = 1.33$; $P = 0.0002$). There is a linear relationship between SL and gut length (GL) ($r^2 = 0.68$, $n = 34$, $P < 0.001$). The stomach content analysis revealed that Mysida and Euphausiacea were the main prey taxa of *P. forsskali* in the autumn season, appearing in high numbers and frequencies in the stomach contents (Table 1). In the winter season, the prey diversity of the fish was higher (11) than in the autumn season (5), and the most important prey taxa based on the IRI% were Euphausiacea, Mysida, Gastropoda, Amphipoda, and Copepoda (Table 1).

Table 1. Percentage distribution of prey organisms in the diet of *P. forsskali* in the Gulf of Antalya.

Prey Group	%W		%F		%N		%IRI	
	Autumn	Winter	Autumn	Winter	Autumn	Winter	Autumn	Winter
Euphausiacea	35.88	30.07	50.00	38.46	36.36	90.91	38.93	32.37
Amphipoda	4.33	24.63	25.00	23.08	18.18	54.55	6.07	12.71
Mysida	49.08	18.01	50.00	38.46	36.36	90.91	46.05	29.15
Decapoda	0.39	3.41	12.50	3.85	9.09	9.09	1.28	0.33
Gastropoda	10.31	2.39	25.00	26.92	18.18	63.64	7.68	12.37
Copepoda	0.00	11.42	0.00	19.23	0.00	45.45	0.00	7.61
Ostracoda	0.00	0.07	0.00	11.54	0.00	27.27	0.00	2.20
Fish larvae	0.00	5.93	0.00	11.54	0.00	27.27	0.00	2.67
Coleoptera	0.00	3.41	0.00	3.85	0.00	9.09	0.00	0.33
Macroalgae	0.00	0.59	0.00	3.85	0.00	9.09	0.00	0.26

DISCUSSION AND CONCLUSION

With the opening of the Suez Canal, many alien species have entered the Mediterranean waters from the Red Sea and established populations (Turan et al., 2016; Turan et al., 2021; Zenetos & Galanidi, 2020). *Parupeneus forsskali* is one of the Lessepsian migratory species that crossed from the Red Sea to the Mediterranean following the opening of the Suez Canal. This process has accelerated, especially in recent years, with the increase in seawater temperatures (Golani, 1998). This species is considered economically important due to its high market value as a food fish in both the Red and Mediterranean Seas (Evangelopoulos et al., 2020; Sabrah, 2015). However, studies on the commercial value of *P. forsskali* are lacking in the coastal waters of Turkey. The use of this species as a potential commercial fish depends on population dynamics. Additionally, Golani (1998) stated that, besides genetic variation, trophic niche breadth (diet diversity) and life history traits play a significant role in the successful establishment of populations of species, particularly those belonging to the Mullidae family, in new environments. At this point, deciphering a species' growth parameters and

feeding ecology is crucial for determining the species biology, ecology, population success, and stock management (Turan et al., 2021). As a result, this study revealed the fitness, growth characteristics, and feeding ecology of the *P. forsskali* population distributed in the Gulf of Antalya. The length-weight relationship constant "b" value of *P. forsskali* was determined as negative allometric growth with $b < 3$ in the winter season. If fish grow allometrically, fish weight will increase either slower ($b < 3$) in proportion to the length increase (Saha et al., 2009). Positive allometric growth ($b > 3$) indicates that the fish's body weight is growing faster than its length, which can result in the fish having a larger and more robust structure. In negative allometric growth, the fish's length may increase rapidly, while body mass (fat or muscle accumulation) grows more slowly, resulting in a longer but thinner body. This pattern suggests that fish in the autumn season are shorter and leaner, whereas those in the winter season are longer and heavier. Previous studies, for example, Vagenas et al. (2024), did not detect any differences in body growth regressions between sexes in the Aegean Sea populations of this species. Ergüden et al. (2015) found that the populations in Iskenderun Bay have a negative allometric growth type ($b < 3$) for both sexes. Turan et al. (2021) determined the b value for *P. forsskali* populations in Iskenderun Bay as $b > 3$ for both sexes. Similarly, Saemundsson et al. (2023) reported that both male and female of *P. forsskali* caught off the coast of Cyprus exhibited positive allometric growth ($b > 3$). In this study, we did not perform sex determination, but other studies have emphasized that the sexes do not affect the b value. These variations in the relationship constant "b" may result from differences in environmental parameters of the ecosystem where the populations exist, individual body size, and the quantity and quality of available food in the region during the sampling season (Tsoumani et al., 2006).

Farrag et al. (2018) reported that the total lengths (TL) of *P. forsskali* individuals ranged from 11 to 27 cm, with the highest frequency (14.93%) observed in the 18–18.9 cm length group. Similarly, a specimen recorded from the Egyptian Mediterranean coast by Mehanna & Hassanien (2020) had a TL of 26.5 cm, fork length of 23.0 cm, standard length (SL) of 21.5 cm, and a total weight of 228.4 g, representing a large, likely mature individual. In contrast, the present study reported a narrower size range, with SL values between 9 and 12 cm and body weights ranging from 15 to 45 g. Considering that SL typically constitutes 75–85% of TL, the individuals sampled in our study likely represent younger age classes or subadults. These discrepancies in size structure may result from differences in sampling season, habitat conditions, fishing gear selectivity, or local population dynamics. Furthermore, the current data were obtained during autumn

and winter, which may also reflect seasonal growth variation. These results suggest that while larger individuals of *P. forsskali* are present and well-established in parts of the eastern Mediterranean, including Egypt and Cyprus, our findings provide preliminary insight into the presence of smaller size classes and potential recruitment in the Gulf of Antalya. Broader and year-round sampling efforts are needed to determine the full population structure and growth characteristics of this species in the region.

In general, the condition factor indicates fish populations' health (physiological condition and yield). It reflects lipid content and growth rates as affected by biotic and abiotic factors (Karuppiyah et al., 2022). The condition factor, $CF > 1$, may indicate a better condition than the average condition of other individuals of the same length, while $CF < 1$ may indicate a worse condition (Uzunova et al., 2017). In this study, the mean condition factor of the fish in the autumn season (1.03 ± 0.12) was higher than in the winter season (0.75 ± 0.08). Compared to the length-weight relationship, it was found that *P. forsskali* exhibited positive allometric growth during the winter season, with lower condition factors than in the autumn season. Although positive allometric growth occurs in the winter season, the decrease in temperature in the Eastern Mediterranean waters, along with reductions in food availability and the population's feeding activities, may lead to a decline in the fish's condition.

A species' feeding ecology is interrelated with its population dynamics. Therefore, gaining insight into the feeding ecology of a species, population, or community can provide important information on resource allocation, prey preference, predation strategy, energy transfer, and many other aspects (Braga et al., 2012). Regarding Lessepsian fish species, dietary characteristics are critical in understanding whether a species is invasive. A wide dietary range or high adaptability may indicate invasive characteristics (Golani, 1998; Katsanevakis et al., 2014). Researchers can determine whether it threatens the habitats and resources of native species. In this context, although *P. forsskali* is a relatively recent migrant to the Eastern Mediterranean basin, studies have shown that it is a strong competitor for resources and space, demonstrating notable habitat flexibility in the newly invaded areas (Arndt et al., 2018; Evagelopoulos et al., 2020). Within the scope of stable carbon isotope ($\delta^{13}C$) analyses, Tsadok et al. (2023) revealed a clear and significant isotopic difference between *P. forsskali* populations from the Mediterranean coast of Israel and the Gulf of Aqaba in the Red Sea. These findings indicate notable differences in dietary sources between native (Red Sea) and non-native (Eastern Mediterranean) populations. In this study, the RGL index indicated that this fish is carnivorous, with its diet primarily consisting of the Crustacea taxa, namely Euphausiacea, Mysida,

Amphipoda, and Copepoda. Therefore, the findings of this study align with those of other studies conducted in the Mediterranean and Aegean Seas (Evagelopoulos et al., 2020; Tüzün & Gücü, 2024; Vagenas et al., 2024). This species exhibits a constant feeding profile in each new region of its distribution. In this study, we detected seasonal variation in the diet composition of *P. forsskali*. In the autumn season, Mysida and Euphausiacea comprised 85% of the species' diet (%IRI). However, this proportion decreased to 61.5% in the winter season as different prey groups were added to the diet. Michail et al. (2024) found that *P. forsskali* individuals sampled from the Cypriot coast preferred different Crustacea groups each season: Copepoda and Decapoda in the autumn and Isopoda and Decapoda in the winter. Besides, the gut length of *P. forsskali* varied between 7.34 (autumn) and 12.08 cm (winter), the RGL index did not show seasonal differences (0.72-0.98) in this study. This phenotypic flexibility in gut morphology may be due to changes in gut length to utilize food resources more efficiently (Akin et al., 2016).

In conclusion, this study aimed to elucidate the feeding ecology and growth characteristics of *P. forsskali* populations in the Gulf of Antalya. Although based on a limited number of specimens, the findings provide preliminary insights into the species' feeding flexibility and growth dynamics, which appear to play a significant role in its successful adaptation to new environments. These initial observations underscore the need for further research involving larger sample sizes, and broader spatial and temporal scales to more comprehensively evaluate the ecological implications of this Lessepsian migrant. Nevertheless, the present results serve as a valuable foundation for stock management, ecosystem conservation efforts, and the assessment of interactions between native and non-native species in the Eastern Mediterranean.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was not supported by any funding.

Declaration of interest statement

The authors report there are no competing interests to declare.

REFERENCES

- Arndt, E., Givan, O., Edelist, D., Sonin, O., & Belmaker, J. (2018) Shifts in eastern Mediterranean fish communities: Abundance changes, trait overlap, and possible competition between native and non-native species. *Fishes*, 3(2).
- Bariche, M., Bilecenoğlu, M., & Azzurro, E. (2013). Confirmed presence of the Red Sea goatfish

- Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) in the Mediterranean Sea. *BioInvasions Records*, 2(2), 173-175.
- Braga, R.R., Bornatowski, H., & Vitule, J.R.S. (2012).** Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 22, 915-929.
- Çınar, M.E., Bilecenoglu, M., Öztürk, B., & Can, A. (2006).** New records of alien species on the Levantine coast of Turkey. *Aquatic Invasions*, 1, 84-90.
- Ergüden, D., Erguden, S.A., & Gurlek, M. (2015).** Length–weight relationships for six fish species in Iskenderun Bay (Eastern Mediterranean Sea coast of Turkey). *J. Appl. Ichthyol.*, 31, 1148-1149.
- Ergüden, D., Bayhan, Y.K., Ergüden, S.A., & Altun, A. (2018).** Occurrence of the Red Sea Goatfish *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) from the Western Mediterranean coast of Turkey. *Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi*, 4(1), 68-72.
- Evangelopoulos, A., Nikolaou, A., Michailidis, N., Kampouris, T.E., & Batjakas, I.E. (2020).** Progress of the dispersal of the alien goatfish *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) in the Mediterranean, with preliminary information on its diet composition in Cyprus. *Bioinvasions. Rec.*, 9, 209-222.
- Farrag, M.M.S., Osman, A.G.M., Mehanna, S.F., & Osman, Y.A.A. (2018).** Fisheries status of the common species of family Mullidae in the Southern Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 22(5), 249-265.
- Froese, R., & Pauly, D. (2022).** FishBase. <https://www.fishbase.org> (02 Şubat 2025).
- Gilaad, R., Galil, B., Diamant, A., & Goren, B. (2017).** The diet of native and invasive fish species along the Eastern Mediterranean coast (Osteichthyes). *Zoology in the Middle East*, 63(4), 325-335.
- Golani, D. (1998).** Impact of Red Sea fish migrants through the Suez Canal on the aquatic environment of the Eastern Mediterranean. *Bulletin Series Yale School of Forestry and Environmental Studies*, 103, 375-387.
- Goren, M., Galil, B., Diamant, A., & Stern, N. (2016).** Invading up the foodweb? Invasive fish in the Southeastern Mediterranean. *Marine Biology*, 163, 180. DOI: 10.1007/s00227-016-2950-7
- Gökoğlu, M., & Teker, S. (2016).** First record of *Parupeneus forsskali* and second records of Knight Rock Shrimp, *Sicyonia lancifer* (Olivier, 1911) (Decapoda: Sicyoniidae) in the Gulf of Antalya. *27th International Scientific-Expert Congress of agriculture and Food Industry*, 26 - 28 Eylül 2016, Bursa, Türkiye, 0-5.
- Gürlek, M., Gündüz, M.N., Uyan, A., Doğdu, S.A., Karan, S., Gürlek, M., Ergüden, D., & Turan, C. (2016).** Occurrence of the Red Sea goatfish *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) (Perciformes: Mullidae) from Iskenderun Bay, Northeastern Mediterranean. *Natural and Engineering Sciences*, 1(1), 7-10.
- Hüseyinoğlu, M.F., Arda, Y., & Jiménez, C. (2023).** Manual of invasive alien species in the Eastern Mediterranean. IUCN, Gland, Switzerland.
- Hyslop, E.J. (1980).** Stomach contents analyzes. A review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17, 411-429.
- Karachle, P., & Stergiou, K. (2010).** Intestine morphometrics of fishes: a compilation and analysis of bibliographic data. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 40(1), 45-54.
- Karuppiah, K., Ethiraj, K., Sekar, S., Rajendran, K., Krishnamoorthy, M., & Dharmaraj, D. (2022).** Weight-length relationships and Fulton's condition factors of ten commercially important Scombridae fish species in Southeast coast of India, Bay of Bengal. *Thalassas*, 38, 709-713.
- Katsanevakis, S., Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Lasram, B.R.F., Zenetos, A. & Cardoso, A.C. (2014).** Invading the Mediterranean Sea: biodiversity patterns shaped by human activities. *Frontiers in Marine Science*, 1, 32. DOI: 10.3389/fmars.2014.00032
- Le Cren, C.D. (1951).** The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in perch, *Perca fluviatilis*. *Journal of Animal Ecology*, 20, 201-219.
- Mehanna, S.F., & Hassanien, E.M. (2020).** Lessepsian migration with the first record of the Red Sea Goatfish, *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) in the coastal waters of Egyptian Mediterranean Sea. *Advances in Agriculture and Fisheries Research*, 1.
- Michail, C., Pyle, A., & Chartosia, N. (2024).** The seasonal diet of the alien *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) (Actinopterygii, Mullidae) from Cyprus. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1122.
- Mutlu, E., Miglietta, C., Meo, I.D., & Deval, M.C. (2022).** Spatiotemporal and bioecological distribution of four commercial Mullid species in an ultraoligotrophic Mediterranean gulf. *Turkish Journal of Zoology*, 46(6), 484-499.
- Özvarol, Y., & Tatlıses, A. (2018).** Distribution and first report of *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) from North of Cyprus and Gulf of Antalya, Turkey. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(2), 80-83.
- Randall, J.E. (2004).** Revision of the goatish genus *Parupeneus* (Perciformes: Mullidae), with descriptions of two new species. *Indo-Pacific Fishes*, 36, 1-64.
- Ricker, W.E. (1975).** Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1-382.
- Sabrah, M.M. (2015).** Fisheries biology of the Red Sea goatfish *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) from the northern Red Sea,

- Hurghada, Egypt. *Egyptian J. Aquat. Res.*, **41**(1), 111-117.
- Saemundsson, S., Tsikliras, A.C., & Chartosia, N. (2023).** Reproduction and growth of the Red Sea goatfish *Parupeneus forsskali* in its new environment (Cyprus, eastern Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, **87**(2), DOI: [10.3989/scimar.05317.064](https://doi.org/10.3989/scimar.05317.064)
- Saha, B.K., Islam, M.R., Saha, A., & Hossain, M.A. (2009).** Reproductive biology of the Mola Carplet *Amblypharyngodon mola* (Hamilton) (Cypriniformes: Cyprinidae) from Netrakona water. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, **44**(3), 377-379.
- Tsadok, R., Zemah-Shamir, Z., Shemesh, E., Martinez, S., Ramon, D., Kolski, I., Tsemel, A., & Tchernov, D. (2023).** Dietary habits change of lessepsian migrants fish from the Red Sea to the Eastern Mediterranean Sea. *Aquatic Invasions*, **18**(4), 521-531.
- Tsoumani, M., Liasko, R., Moutsaki, P., Kagalou, I., & Leonardos, I. (2006).** Length-weight relationships of an invasive cyprinid fish (*Carassius gibelio*) from 12 Greek lakes in relation to their trophic states. *Journal of Applied Ichthyology*, **22**(4), 281-284.
- Turan, C., Ergenler, A., Doğdu, A.S., & Turan, F. (2021).** Age and growth of Red Sea Goatfish, *Parupeneus forsskali* from Iskenderun Bay, Northeastern Mediterranean Sea. *Journal of Ichthyology*, **61**(5), 758-763.
- Turan, C., Ergüden, D., & Gürlek, M. (2016).** Climate change and biodiversity effects in Turkish seas. *Nat. Eng. Sci.*, **1**(2), 15-24.
- Tüzün, S., & Gücü, A.C. (2024).** Trophic positioning among native and non-indigenous species in the eastern Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, **25**(2), 382-392.
- Uzunova, E.P., Kanev, E.K., & Stefanov, T. (2017).** Spatial variation in the abundance and population structure of bullhead *Cottus gobio* L., 1758 (Actinopterygii: Cottidae) from the Iskar River Basin (Danube River drainage, Bulgaria): Implications for monitoring and conservation. *Acta Zoologica Bulgarica*, **69**(3), 393-404.
- Vagenas, G., Dogrammatzi, A., Kondylatos, G., & Karachle, P.K. (2023).** On the biology of the alien Red Sea goatfish, *Parupeneus forsskali* (Fourmanoir & Guézé, 1976) in the Aegean Sea, Eastern Mediterranean. *Marine Biology Research*, **19**(10), 564-573.
- Yapici, S., & Filiz, H. (2017).** First detection of *Parupeneus forsskali* in the Aegean Sea by visual census. In: Stamouli, C., Akel, E.H.K.H., Azzurro, E., Bakiu R. & Bas, A.A. (Ed), *New Mediterranean Biodiversity Records (December 2017)*. Attiki, Greece.
- Yılmaz, S., & Demirhan, S.A. (2020).** Age, growth parameters and food composition of invasive Red Lionfish (*Pterois volitans* L., 1758) in İskenderun Bay. *NESciences*, **5**(2), 82-91.
- Zenetos, A., & Galanidi, M. (2020).** Mediterranean non-indigenous species at the start of the 2020s: recent changes. *Mar. Biodiversity Rec.*, **13**(1), 1-17.



The First and Current Checklist of the Animal Species Bearing Lampbrush Chromosomes

Nadim YILMAZER^{1*}

Melek KESKİN BAŞPINAR²

¹Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

²Institute of Natural and Applied Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

Received: 08.04.2025

Accepted: 03.07.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Yilmazer, N., & Keskin Başpınar, M. (2025). The First and Current Checklist of the Animal Species Bearing Lampbrush Chromosomes. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 431-442. <https://doi.org/10.35229/jaes.1667709>

Atf yapmak için: Yilmazer, N., & Keskin Başpınar, M. (2025). Lamba Fırçası Kromozomları Taşıyan Hayvan Türlerinin İlk ve Güncel Listesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 431-442. <https://doi.org/10.35229/jaes.1667709>

*<https://orcid.org/0000-0002-9935-9608>
<https://orcid.org/0000-0003-0805-337X>

***Corresponding author's:**

Nadim YILMAZER
Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, 59030 Tekirdağ, Türkiye
✉: nyilmazer@nku.edu.tr

Abstract: In virtually all animal species, egg cells exhibit a notable size disparity compared to somatic cells in order to support the production of an embryo. The rapid and voluminous production of eggs, often in abundance, necessitates specialized mechanisms. One of these mechanisms is diplotene arrest, a stage characterized by nuclear expansion and heightened chromosomal transcriptional activity, resulting in the formation of distinct lampbrush chromosomes. Lampbrush chromosomes, which are remarkably long, have been best studied in amphibians and birds due to their ease of isolation from the nucleus. A thorough review of scientific literature conducted until March 2025 across electronic databases unveiled the presence of lampbrush chromosomes in a total of 197 animal species, encompassing 31 invertebrates and 166 vertebrates. The widespread occurrence of lampbrush chromosomes across such a diverse array of animal species suggests an ancient evolutionary origin for this mechanism of egg growth.

Keywords: Diploten arrest, egg growth, invertebrates, oogenesis, vertebrates.

Lamba Fırçası Kromozomları Taşıyan Hayvan Türlerinin İlk ve Güncel Listesi

***Sorumlu yazar:**

Nadim YILMAZER
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, 59030 Tekirdağ, Türkiye
✉: nyilmazer@nku.edu.tr

Öz: Hemen hemen tüm hayvan türlerinde, yumurta hücreleri embriyo oluşumunu desteklemek amacıyla somatik hücrelere kıyasla belirgin bir boyut farkı gösterir. Yumurtaların hızlı ve bol miktarda üretilmesi genellikle özel mekanizmalar gerektirir. Bu mekanizmalardan biri, çekirdek hacmi ve kromozomlarda transkripsiyon aktivitesi artışı ile karakterize edilen diploten arrestidir; bu süreçte, belirgin lamba fırçası kromozomları ortaya çıkar. Oldukça uzun yapıya sahip olan lamba fırçası kromozomları, çekirdekten izole edilmelerinin kolay olması nedeniyle en iyi amfibilerde ve kuşlarda incelenmiştir. Mart 2025'e kadar elektronik veri tabanları taranarak yapılan kapsamlı bilimsel literatür incelemesi, 31'i omurgasız ve 166'sı omurgalı olmak üzere toplamda 197 hayvan türünde lamba fırçası kromozomlarının varlığını ortaya koymuştur. Bu kromozomların böylesine geniş ve çeşitli hayvan türlerinde görülmesi, yumurta büyümesi için bu mekanizmanın eski bir evrimsel kökene sahip olduğunu düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Diploten arresti, omurgalılar, omurgasızlar, ovogenez, yumurta büyümesi.

INTRODUCTION

A distinctive feature of the egg cell in all animal species is that it is much larger than the somatic cells of the organism to which it belongs. This size of the egg cell ensures the necessary number of cells for the embryo, stores nutrients that enhance the embryo's survival probability and

adaptation success, and makes it easier for the sperm to find the egg, thus increasing the likelihood of fertilization. Animals produce their eggs, which reach large volumes in a short time and can be in large numbers, by using some special mechanisms. One of these mechanisms is diplotene arrest. Developing oocytes enter a waiting stage called diplotene arrest during the prophase of the first meiotic

division (prophase I) (Masui, 2001). This waiting stage can last for hours, days, weeks, months, or years depending on the species: in *Clytia hemisphaerica* (Cnidaria, Hydrozoa) it lasts 13-15 hours, in mice it lasts for months, in frogs (*Xenopus*) 2.5-3 years, and in humans, it can last for years (Jesus et al., 2020; Wang and Pepling, 2021). During the diplotene arrest, the nucleus increases in volume, and the chromosomes take on a dense transcriptional activity, forming a characteristic brush-like appearance seen in some vertebrates and invertebrates except mammals, hence termed as lampbrush chromosomes (LBCs). The nucleus in this stage is called the germinal vesicle. The number of nucleoli increases within the germinal vesicle (Coimbra and Azevedo, 1984; Guraya, 1989), excluding adult birds (Koshel et al., 2016), and synthesized histones are stored within it (Jesus et al., 2020).

Brief history: Detailed history of LBCs from their discovery towards mid-1985 can be found in the first chapter of the comprehensive and authoritative book by Professor Harold Garnet Callan (1917-1993). As summarized from this chapter, the history of the discovery and naming of these structures is as follows. LBCs were first observed by the German biologist Walther Flemming (1843-1905), considered the founder of cytogenetics. While studying the egg development of *Siredon pisciformis* (*Ambystoma mexicanum*) with his student, Flemming noticed peculiar, delicate structures in the nuclei of young oocytes in stained preparations. These elongated structures were arranged perpendicular to the long axis and consisted of thin ribbons extending in all directions from the axis. He published these observations in 1882. Flemming later reported similar structures in the nuclei of young oocytes of other salamanders and frogs in his subsequent studies. Carl Rabl (1853–1917), who was an Austrian anatomist, embryologist, and cytologist, observed these structures in the nuclei of *Proteus*, a species of salamander, in 1885, while Moritz Holl (1852-1920), an Austrian anatomist observed them in chicken oocytes in 1890. The German anatomist Johannes Rückert (1854-1923) identified these structures as chromosomes in 1892. During his study on the ovary of *Pristiurus* (*Pristiurus sauteri* or *Pristurus sauteri* valid as *Galeus sauteri*), a shark species, Rückert likened these chromosomes he observed in the nuclei of developing oocytes in sections to brushes used to clean gas lamp glass (similar to brushes used today for cleaning glassware such as test tubes, beakers, and bottles) and named them lampbrush chromosomes (Callan, 1986).

An overview: LBCs are bivalents (tetrads); in each bivalent, two homologous chromosomes (maternal and paternal) are connected at chiasmata points, and thousands of loops extend from the chromatids of each chromosome, one on each side. These loops, due to the accumulation of ribonucleoproteins (RNA polymerases and transcripts), are

thicker than the 30 nm thick chromatin fiber, making them easily visible under a light microscope (Sumner, 2003). Loops are sites of intense RNA synthesis. Transcription of genes encoding histones, ribosomal proteins, RNA polymerases, heat shock proteins (hsp70 and hsc90), nuclear lamins, actin, tubulin, calmodulin, metallothionein, DNA polymerase, DNA ligase, enolase, fibronectin, ATP-ADP carrier proteins, nucleophilic proteins N1 and N2, nucleoplasmic proteins, and proteins binding to snRNAs (small nuclear RNAs), as well as genes for ribosomal and transfer RNAs, occurs on loops of various lengths (Macgregor, 1984; Davidson, 1986; Angelier et al., 1996).

LBCs are remarkably long chromosomes; in urodele amphibians such as *Salamandra salamandra* and *Lissotriton vulgaris* (*Triturus vulgaris*), the largest metaphase chromosome adopts a lampbrush form and can reach approximately 700 µm in length. Due to their ease of isolation from the nucleus, LBCs have been best studied in amphibians and birds (Zlotina et al., 2017).

In oogenesis, the duration of chromosomes remaining in the lampbrush form during the diplotene stage varies among species. This duration is a few weeks in *Petromyzon* (Chordata, Petromyzontida), seven months in *Triturus* (Amphibia, Urodela), three months to two years in *Xenopus* frogs (Anura, *Xenopus*), one to one and a half months in *Engystomops* frogs (Anura, *Engystomops*), several months to slightly over a year in lizards (Squamata), three weeks in chickens (*Gallus gallus*), and about three months in grasshoppers (Orthoptera) (Davidson, 1986). For a comprehensive information on both structure and biological role of these gorgeous chromosomes, refer to the review by Saifitdinova et al. (2021), which includes several relevant monographs and a series of review articles.

Cytogenetical significance of LBCs: LBCs have proven to be a crucial tool in cytogenetics due to their unique structural features, with significant applications in cytogenetics, taxonomy, and phylogeny (Macgregor et al., 1990). These features, including lateral loops with unusual morphology, complex organization, associated spherical bodies (Cajal bodies), nucleoli, and distinctive chromomere patterns, serve as marker structures. They allow for the precise identification and mapping of individual chromosomes and specific genome regions, which can be challenging using standard metaphase chromosomes, especially in species with complex karyotypes such as amphibians, birds and reptiles (Dedukh et al., 2013). For example, amphibian chromosomes often lack informative banding patterns, and birds possess small genomes with karyotypes that include a few large macrochromosomes and numerous indistinguishable microchromosomes (Zlotina et al., 2017). As a result, traditional cytogenetic methods, particularly those relying on compact metaphase

chromosomes, are often inadequate for studying the karyotypes of these animals.

Moreover, LBC analysis enables the construction of comprehensive cytological maps, providing a high-resolution framework for fluorescence in situ hybridization (FISH) mapping of genomic fragments. This makes LBCs a powerful tool for high-resolution karyotype analysis. In addition, inter- and intrachromosomal rearrangements such as inversions, fusions, and translocations can be detected through the analysis of orthologous LBCs (Dedukh et al., 2013; Zlotina et al., 2017). In bird and reptile species with complex karyotypes, especially those enriched with repetitive elements, LBC analysis helps reveal the order of cytological markers, shedding light on chromosomal evolution, including the differentiation of sex chromosomes (Keinath et al., 2021). It should be also noted that LBCs are a unique model object for the cyto-molecular analysis of transcription and co-transcriptional processing of synthesized RNA (Saifitdinova et al., 2021).

LBCs are not only valuable for mapping individual chromosomes but also for studying evolutionary relationships between species. The positions and distribution of various landmark loops on LBCs often correlate with phylogenetic relationships, with closely related species exhibiting similar landmark patterns. This has enabled researchers to explore phylogenetic connections among species such as urodeles and anurans. However, the analysis of more distantly related species remains challenging with this method (Macgregor et al., 1990; Ohtani, 1990; Zlotina et al., 2017).

In addition to interspecies analysis, LBCs can be used to investigate intraspecies genetic polymorphisms. Variability in the landmark structures of LBCs in animals from isolated populations suggests the accumulation of polymorphisms, which is a key factor in the early stages of allopatric speciation. Furthermore, the analysis of chiasmata distribution on LBCs aids in identifying sex chromosomes, particularly when they are indistinguishable at metaphase (Bucci et al., 1990; Zlotina et al., 2017).

The application of LBCs extends to high-resolution physical gene mapping, allowing for the precise localization of individual genes or tandem repeat families on specific chromomeres or lateral loops. FISH techniques can be employed to map these genetic elements, providing insights into the patterns of DNA/DNA and DNA/RNA hybridization. Additionally, LBCs facilitate the investigation of epigenetic modifications within both decondensed (lateral loops) and condensed (chromomeres) chromatin domains, further enhancing their value in cytogenetic research (Kulikova et al., 2020).

In conclusion, LBCs represent an invaluable tool for cytogenetic and cytological studies, offering high-resolution insights into genome structure, chromosomal

evolution, and species relationships. Their applications span various fields, from taxonomy and phylogeny to the study of genetic polymorphisms and chromosomal rearrangements.

Checklist: As of the beginning of March 2025, animal species in which LBCs have been detected in their oocytes during oogenesis are listed in Tables 1 and 2, following the completion of a comprehensive literature search through electronic databases for pertinent scientific articles. As can be seen from the accompanying tables, a total of 197 animal species, comprising 31 invertebrates (Table 1) and 166 vertebrates (Table 2), possess these chromosomes. The earliest articles reporting lampbrush chromosome studies in the relevant animal species have been cited in the tables, excluding more recent ones reporting the same species. Additionally, the taxon names mentioned in the cited articles have been used. The tables are annually updated by us and can be accessed through the page <http://spass-sci.ru/lbc/supplementary.htm>, originally launched by the late Professor Herbert Macgregor (1933–2018), currently maintained by the Saint Petersburg Lampbrushology Scientific School (Russia) and are available to the general public.

Table 1. The invertebrate species in which LBCs have been reported from their oocytes during oogenesis.

Taxa	Species	References*
Cnidaria: Anthozoa	<i>Nematostella vectensis</i>	Moiseeva et al., 2017
Crustacea: Isopoda	<i>Anilocra physodes</i>	Callan, 1957
Crustacea: Decapoda	<i>Macrobrachium amazonicum</i>	Paschoal and Zara, 2023
	<i>Calliphora erythrocephala</i>	Dävring, 1983
Insecta: Diptera	<i>Drosophila melanogaster</i>	Dävring and Sunner, 1982
	<i>Drosophila hydei</i>	
	<i>Drosophila funebris</i>	
	<i>Locusta migratoria</i>	
Insecta: Orthoptera	<i>Homocoryphus nitidulus</i>	Kunz, 1967a
	<i>Acrida bicolor</i>	
	<i>Decticus albifrons</i>	
	<i>Gryllus domesticus</i> (<i>Acheta domesticus</i>)	
Insecta: Dictyoptera	<i>Blattella germanica</i>	Bier et al., 1967
Insecta: Coleoptera	<i>Carabus granulatus</i>	Bier et al., 1967; Callan, 1986
	<i>Carabus nemoralis</i>	
	<i>Pterostichus vulgaris</i>	
	<i>Pterostichus niger</i>	
Insecta: Hymenoptera	<i>Diplolepis rosae</i>	Stille and Dävring, 1980
Insecta: Lepidoptera	<i>Ephestia kuehniella</i>	Weith and Traut, 1980
Insecta: Zygentoma	<i>Thermobia domestica</i>	Tworzydło et al., 2017
Arachnida: Trombidiformes	<i>Trombidium latum</i>	Derdak et al., 2024
Mollusca: Gastropoda	<i>Bithynia tentaculata</i>	Bottke, 1973
Mollusca: Cephalopoda	<i>Sepia officinalis</i>	Callan, 1957
Chaetognatha: Sagittoidea	<i>Ferosagitta ferox</i>	Mishin, 1980
	<i>Flaccisagitta hexaptera</i>	
	<i>Sagitta bipunctata</i>	
	<i>Sagitta elegans</i>	
	<i>Sagitta maxima</i>	
Echinodermata: Asteroidea	<i>Sagitta pulchra</i>	Delobel & Delavault, 1971
	<i>Echinaster sepositus</i>	

* Although there is more than one related article, the earliest one was included.

CONCLUSION

The almost universal presence of LBCs in such a diverse range of animal species suggests that this mechanism of egg growth likely has a very ancient evolutionary origin. This checklist, the first of its kind, aims to serve as a valuable database for researchers new to the study of LBCs, providing information on their occurrence in nature along with essential introductory details about these fascinating and evolutionarily significant chromosomes.

Table 2. The vertebrate species in which LBCs have been reported from their oocytes during oogenesis.

Taxa	Species	References**
Cyclostomata	<i>Petromyzon marinus</i> *	Davidson, 1986
Pisces: Chondrichthyes	<i>Scyllium catulus</i>	Callan, 1957
	<i>Pristiurus melanostomus</i> *	
	<i>Squalus suckleyi</i> *	Callan, 1986
	<i>Torpedo</i> *	
	<i>Callorhynchus callorynchus</i>	Fuentes et al., 2023
	<i>Scyliorhinus canicula</i>	Porceddu et al., 2024
Pisces: Osteichthyes	<i>Brachydanio rerio</i>	Baumeister, 1973
	<i>Gasterosteus aculeatus</i> *	
	<i>Trigla hirundo</i> *	Callan, 1986
	<i>Heterandria formosa</i>	Uribe and Grier, 2011
	<i>Cyprinodon variegatus</i>	Wallace & Selman, 1981
	<i>Scomber scomber</i>	Bara, 1960
	<i>Micropterus salmoides</i>	Żelazowska & Halajian, 2019
	<i>Labeobarbus marequensis</i>	Żelazowska & Halajian, 2020
	<i>Cobitis elongatoides</i>	
	<i>Cobitis taenia</i>	Marta et al., 2020
	<i>Sander lucioperca</i>	Żelazowska & Kujawa, 2022
	<i>Mullus surmuletus</i>	Berthelin et al., 2022
	<i>Poecilia mexicana</i>	
	<i>Poecilia formosa</i>	Dedukh et al., 2022
	<i>Acipenser ruthenus</i>	Igorova et al., 2022
	<i>Pleuronectes platessa</i>	Sauger et al., 2023
	<i>Cyprinodon artifrons</i>	
	<i>Garmanella pulchra</i>	Omar, 2024
	<i>Cobitis hankugensis</i>	
	<i>Iksookimia longicorpa</i>	Dedukh et al., 2024a
	<i>Gymnocorymbus ternetzi</i>	Domínguez-Castanedo et al., 2024
	<i>Lepidorhombus whiffiagonis</i>	Kellner et al., 2024a
	<i>Lepidorhombus boscii</i>	Kellner et al., 2024b
	<i>Silonia silondia</i>	Akhi et al., 2024
	Hybrids between <i>Clarias macrocephalus</i> and <i>Clarias gariepinus</i>	Dedukh et al., 2024b
	<i>Danio rerio</i>	Dedukh et al., 2025
Amphibia: Urodela	<i>Ambystoma jeffersonianum</i>	
	<i>Ambystoma laterale</i>	Macgregor & Uzzell, 1964; Bi & Bogart, 2010
	<i>Ambystoma macrodactylum</i>	
	<i>Ambystoma gracile</i>	Kezer et al., 1980
	<i>Ambystoma tremblayi</i>	
	<i>Ambystoma mexicanum</i>	Callan, 1966
	<i>Ambystoma tigrinum</i>	Gall, 1954
	<i>Ambystoma texanum</i>	Bogart, 2003
	<i>Amphiuma means</i> *	Callan, 1986
	<i>Bolitoglossa subpalmata</i>	Macgregor, 1980
	<i>Euproctus montanus</i> *	
	<i>Euproctus platycephalus</i> *	Nardi et al., 1972
	<i>Hynobius quelpaertensis</i>	Ikebe et al., 2005
	<i>Necturus maculatus (maculosus)</i>	
	<i>Pseudotriton montanus</i>	Lafontaine & Ris, 1958

Table 2. (Continued)

Taxa	Species	References**
Amphibia: Urodela	<i>Plethodon cinereus cinereus</i>	
	<i>Plethodon cinereus polycetratus</i>	
	<i>Plethodon nettingi hubrichti</i>	
	<i>Plethodon richmondi</i>	
	<i>Plethodon dorsalis</i>	Kezer & Macgregor, 1973
	<i>Plethodon dunni</i>	
	<i>Plethodon vehiculum</i>	
	<i>Eurycea bislineata bislineata</i>	
	<i>Eurycea lucifuga</i>	
	<i>Pleurodeles poireti</i>	Lacroix, 1968
	<i>Pleurodeles waltlii (waltl)</i>	
	<i>Proteus anguineus*</i>	Callan, 1986
	<i>Salamandra salamandra</i>	Mancino et al., 1969
	<i>Siren intermedia</i>	Leon and Kezer, 1974
	<i>Taricha granulosa</i>	Fabergé, 1970
	<i>Taricha torosa*</i>	Callan, 1986
	<i>Notophthalmus (Triturus) viridescens</i>	Gall, 1954
	<i>Triturus carnifex</i>	
	<i>Triturus cristatus</i>	
	<i>Triturus dobrogicus (danubialis)</i>	Callan & Lloyd, 1960
	<i>Triturus karelinii</i>	
	<i>Triturus helveticus</i>	Mancino & Barsacchi, 1966
	<i>Triturus italicus</i>	Mancino & Barsacchi, 1969
	<i>Triturus vulgaris meridionalis</i>	Barsacchi et al., 1970
	<i>Triturus alpestris apuanus</i>	Ragghianti et al., 1972
	<i>Triturus marmoratus</i>	Nardi et al., 1972
	<i>Triturus montandoni</i>	Ragghianti et al., 1978
	<i>Triturus boscai</i>	
	<i>Triturus vittatus ophryticus</i>	Bucci-Innocenti et al., 1983
	<i>Cynops (Triturus) pyrrhogaster</i>	Imoh, 1981
Amphibia: Anura	<i>Ascaphus truei</i>	Macgregor & Kezer, 1970
	<i>Bombina variegata</i>	
	<i>Bufo bufo</i>	
	<i>Bufo calamita</i>	Ullerich, 1970
	<i>Bufo viridis</i>	
	<i>Bufo lentiginosus</i>	King, 1908
	<i>Flectonotus pygmaeus</i>	Macgregor & del Pino, 1982
	<i>Agalychnis callidryas</i>	
	<i>Bufo marinus</i>	
	<i>Bufo typhonius</i>	
	<i>Colostethus inguinalis</i>	
	<i>Dendrobates auratus</i>	Davidson & Hough, 1969
	<i>Engystomops pustulosus</i>	
	<i>Hyla ebraccata</i>	
	<i>Hyla rosenbergi</i>	
	<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	
	<i>Pelophylax (Rana) lessonae</i>	
	<i>Pelophylax (Rana) ridibundus</i>	Dedukh et al., 2013

Table 2. (Continued)

Taxa	Species	References**
Amphibia: Anura	<i>Rana catesbeiana</i> (<i>Lithobates catesbeianus</i>)	Wu et al., 1986
	<i>Rana</i> (<i>Euphlyctis</i>) <i>cyanophlyctis</i>	Srivastava & Bhatnagar, 1962
	<i>Rana epeirotica</i>	Guerrini et al., 1997
	<i>Rana shqiperic</i>	
	<i>Rana esculenta</i>	Giorgi & Galleni, 1972
	<i>Rana fusca</i> *	Callan, 1986
	<i>Rana pipiens</i>	Rogers & Browder, 1977
	<i>Rana temporaria</i>	Tsvetkov & Parfenov, 1994
	<i>Rana nigromaculata</i>	Ohtani, 1990
	<i>Rana brevipoda</i>	
	<i>Rana plancyi chosenia</i>	
	<i>Rana plancyi fukienensis</i>	
	<i>Rana porosa</i>	Ohtani, 1995
	<i>Rana rugosa</i>	Miura et al., 1996
	<i>Xenopus laevis</i>	Müller, 1974
	<i>Xenopus tropicalis</i>	Penrad-Mobayed et al., 2009
	<i>Rhinella schneideri</i>	Montezol et al., 2018
	<i>Pelophylax perezi</i>	Dudzik et al., 2023
Reptilia	<i>Hoplodactylus maculatus</i> (<i>Woodworthia maculatus</i>)	Boyd, 1940
	<i>Platydictylus muralis</i> (<i>Platydictylus fascicularis</i> , <i>Tarentola mauritanica</i>)*	Callan, 1986
	<i>Anguis fragilis</i> *	
	<i>Testudo hermani</i> *	
	<i>Crocodylus niloticus</i> *	
	<i>Lacerta muralis</i> *	
	<i>Lacerta stirpium</i> *	
	<i>Lacerta viridis</i> *	
	<i>Lacerta vivipara</i> *	
	<i>Uromastix achantinurus</i> *	
	<i>Lacerta armeniaca</i>	Arronet, 1973
	<i>Lacerta rostombekovi</i>	
	<i>Lacerta dahli</i>	
	<i>Lacerta saxicola</i> (<i>L. s. defilippii</i> , <i>L. s. portschinskii</i> , <i>L. s. valentini</i>)	
	<i>Eremias velox</i>	
	<i>Eremias strauchi</i>	
	<i>Ophisops elegans</i>	
	<i>Agama caucasica</i>	
	<i>Phrynocephalus helioscopus</i>	
	<i>Phrynocephalus reticulatus</i>	
	<i>Bipes biporus</i>	Macgregor & Klosterman, 1979
	<i>Bipes canaliculatus</i>	
	<i>Cistudo europaea</i> *	Callebaut et al., 1997
	<i>Pseudemys scripta elegans</i>	
	<i>Darevskia armeniaca</i>	Lukina, 1994
	<i>Lacerta agilis</i>	
	<i>Podarcis tauricus</i>	
	<i>Zootoca vivipara</i>	

Table 2. (Continued)

Taxa	Species	References**
Reptilia	<i>Pelodiseus sinensis</i>	Hei et al., 2010
	<i>Trachemys scripta</i>	Davidian et al., 2021
	<i>Chalcides ocellatus</i>	Ibrahim & Wilson, 1989
	<i>Sceloporus torquatus torquatus</i>	Uribe et al., 1995
	<i>Mabuya brachypoda</i>	Hernández-Franyutti et al., 2005
	<i>Hemidactylus flaviviridis</i>	Al-Amri, 2012
	<i>Salvator merianae</i>	García-Valdez et al., 2019
	<i>Alligator mississippiensis</i>	Uribe & Guillette, 2000
	<i>Caiman latirostris</i>	Machado-Santos et al., 2015
	<i>Zootoca vivipara</i>	Kupriyanova & Safronova, 2023
Aves	<i>Alligator sinensis</i>	Nie et al., 2023
	<i>Apus apus</i>	Gaginskaya, 1972; Solovei et al., 1993
	<i>Fringilla montifringilla</i>	
	<i>Caprodaca erythrurus</i>	
	<i>Spinus spinus</i>	
	<i>Anthus trivialis</i>	
	<i>Turdus iliacus</i>	
	<i>Gallus gallus domesticus</i>	
	<i>Coturnix coturnix japonica</i>	
	<i>Meleagris gallopavo</i>	
	<i>Columba livia</i>	
	<i>Passer domesticus</i>	Torgasheva et al., 2019
	<i>Fringilla coelebs</i>	
	<i>Taeniopygia guttata</i>	

* The articles of these species could not be found, but they were attributed in the relevant cited reference.

** Although there is more than one related article, the earliest one was included.

REFERENCES

- Akhi, F.J., Haque, S.M., Miah, M.I., & Haque, M.A. (2024).** Ovarian histology of the freshwater catfish *Silonia silondia* (Hamilton, 1822). *Heliyon*, **10**, e33812. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e33812](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33812)
- Al-Amri, I.S.S. (2012).** Reproductive cycle of the house gecko, *Hemidactylus flaviviridis*, in Oman in relation to morphological and ultrastructural changes and plasma steroid concentrations with reference to localisation of progesterone receptors. Ph.D. Dissertation, University of Portsmouth, 375p.
- Angelier, N., Penrad-Mobayed, M., Billoud, B., Bonnanfant-Jaïs, M.L., & Coumailleau, P. (1996).** What role might lampbrush chromosomes play in maternal gene expression?. *Int J Dev Biol*, **40**, 645-652.
- Arronet, V.N. (1973).** Morphological changes of nuclear structures in the oogenesis of reptiles (Lacertidae, Agamidae). *J Herpetol*, **7**, 163-193. DOI: [10.2307/1563001](https://doi.org/10.2307/1563001)
- Bara, G. (1960).** Histological and cytological change in the ovaries of mackerel *Scomber scomber* L. during the annual cycle. *Istanbul Univ Fen Fak Mecm Ser B*, **25**, 49-91.
- Barsacchi, G., Bussoti, L., & Mancino, G. (1970).** The maps of the lampbrush chromosomes of *Triturus* (Amphibia Urodela). IV. *Triturus vulgaris meridionalis*. *Chromosoma*, **31**, 255-270. DOI: [10.1007/BF00321223](https://doi.org/10.1007/BF00321223)
- Baumeister, H.G. (1973).** Lampbrush chromosomes and RNA-synthesis during early oogenesis of *Brachydanio rerio* (Cyprinidae, Teleostei). *Z Zellforsch Mikrosk Anat*, **145**, 145-150. DOI: [10.1007/BF00307195](https://doi.org/10.1007/BF00307195)
- Berthelin, C., Dubroca, L., Kellner, K., Le Meleder, A., Martin, V., & Sauger, C. (2022).** Lexicon of histological structures found in the ovaries and during the oogenesis of the red mullet, *Mullus surmuletus* (Linnaeus, 1758). *Archimer*, DOI: [10.13155/75174](https://doi.org/10.13155/75174)
- Bi, K., & Bogart, J.P. (2010).** Probing the meiotic mechanism of intergenomic exchanges by genomic in situ hybridization on lampbrush chromosomes of unisexual *Ambystoma* (Amphibia: Caudata). *Chromosome Res.*, **18**, 371-382. DOI: [10.1007/s10577-010-9121-3](https://doi.org/10.1007/s10577-010-9121-3)
- Bier, K., Kunz, W., & Ribbert, D. (1967).** Structure and function of oocyte chromosomes and nucleoli, as well as extra-DNA during oogenesis in panoistic and meroistic insects. *Chromosoma*, **23**, 214-254. DOI: [10.1007/BF00331114](https://doi.org/10.1007/BF00331114)

- Bogart, J.P. (2003).** Genetics and systematics of hybrid species, In: Sever DM (Ed), *Reproductive Biology and Phylogeny of Urodela*, 1st ed., 109-134p, CRC Press, Florida.
- Bottke, W. (1973).** Lampbrush chromosomes and amphinucleoli in oocyte nuclei of the snail *Bithynia tentaculata* L. *Chromosoma*, **42**, 175-190. DOI: [10.1007/BF00320939](https://doi.org/10.1007/BF00320939)
- Boyd, M.M.M. (1940).** The structure of the ovary and the formation of the corpus luteum in *Hoplodactylus maculatus*, Gray. *Q J Microsc Sci*, **82**, 337-376. DOI: [10.1242/jcs.s2-82.326.337](https://doi.org/10.1242/jcs.s2-82.326.337)
- Bucci-Innocenti, S., Ragghianti, M., & Mancino, G. (1983).** Investigations of karyology and hybrids in *Triturus boscai* and *T. vittatus*, with a reinterpretation of the species groups within *Triturus* (Caudata: Salamandridae). *Copeia*, **3**, 662-672. DOI: [10.2307/1444330](https://doi.org/10.2307/1444330)
- Bucci, S., Ragghianti, M., Mancino, G., Berger, L., Hotz, H., & Uzzell, T. (1990).** Lampbrush and mitotic chromosomes of the hemiclonally reproducing hybrid *Rana esculenta* and its parental species. *J Exp Zool Suppl*, **255**, 37-56. DOI: [10.1002/jez.1402550107](https://doi.org/10.1002/jez.1402550107)
- Callan, H.G. (1957).** The lampbrush chromosomes of *Sepia officinalis* L., *Anilocra physodes* L. and *Scyllium catulus* Cuv. and their structural relationship to the lampbrush chromosomes of Amphibia. *Pubbl Stn Zool Napoli*, **29**, 329-346.
- Callan, H.G., & Lloyd, L. (1960).** Lampbrush chromosomes of crested newts *Triturus cristatus* (Laurenti). *Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.*, **243**, 135-219. DOI: [10.1098/rstb.1960.0007](https://doi.org/10.1098/rstb.1960.0007)
- Callan, H.G. (1966).** Chromosomes and nucleoli of the axolotl, *Ambystoma mexicanum*. *J. Cell Sci.*, **1**, 85-108. DOI: [10.1242/jcs.1.1.85](https://doi.org/10.1242/jcs.1.1.85)
- Callan, H.G. (1986).** *Lampbrush Chromosomes*, Springer, Berlin, 256p.
- Callebaut, M., Van Nassauw, L., & Harrisson, F. (1997).** Comparison between oogenesis and related ovarian structures in a reptile, *Pseudemys scripta elegans* (turtle) and in a bird *Coturnix coturnix japonica* (quail). *Reprod Nutr. Dev.*, **37**, 233-252. DOI: [10.1051/rnd:19970301](https://doi.org/10.1051/rnd:19970301)
- Coimbra, A., & Azevedo, C. (1984).** Structure and evolution of the nucleolus during oogenesis, In: Van Blerkom J, Motta PM (Eds), *Ultrastructure of Reproduction- Gametogenesis, Fertilization, and Embryogenesis. Electron Microscopy in Biology and Medicine (Current Topics in Ultrastructural Research)*, Vol 2, 127-139p, Boston Springer. DOI: [10.1007/978-1-4613-3867-3_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3867-3_11)
- Davidian, A., Koshel, E., Dyomin, A., Galkina, S., Saifitdinova, A., & Gaginaskaya, E. (2021).** On some structural and evolutionary aspects of rDNA amplification in oogenesis of *Trachemys scripta* turtles. *Cell Tissue Res.*, **383**, 853-864. DOI: [10.1007/s00441-020-03282-x](https://doi.org/10.1007/s00441-020-03282-x)
- Davidson, E.H., & Hough, B.R. (1969).** Synchronous oogenesis in *Engystomops pustulosus*, a neotropical anuran suitable for laboratory studies: localization in the embryo of RNA synthesized at the lampbrush stage. *J. Exp. Zool.*, **172**, 25-48. DOI: [10.1002/jez.1401720104](https://doi.org/10.1002/jez.1401720104)
- Davidson, E.H. (1986).** *Gene Activity in Early Development*, Academic Press, Florida, 670p.
- Dävring, L., & Sunner, M. (1982).** A lampbrush phase in oocytes of *Drosophila* and its bearing upon mutagen sensitivity data. *Hereditas*, **97**, 247-259. DOI: [10.1111/j.1601-5223.1982.tb00878.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1982.tb00878.x)
- Dävring, L. (1983).** Lampbrush chromosomes in the meroistic ovaries of the blowfly *Calliphora erythrocephala*. *Hereditas*, **99**, 177-185. DOI: [10.1111/j.1601-5223.1983.tb00889.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1983.tb00889.x)
- Dedukh, D., Mazepa, G., Shabanov, D., Rosanov, J., Litvinchuk, S., Borkin, L., Saifitdinova, A., & Krasikova, A. (2013).** Cytological maps of lampbrush chromosomes of European water frogs (*Pelophylax esculentus* complex) from the Eastern Ukraine. *BMC Genet*, **14**, 26. DOI: [10.1186/1471-2156-14-26](https://doi.org/10.1186/1471-2156-14-26)
- Dedukh, D., da Cruz, I., Kneitz, S., Marta, A., Ormanns, J., Tichopád, T., Lu, Y., Alsheimer, M., Janko, K., & Scharl, M. (2022).** Achiasmatic meiosis in the unisexual Amazon molly, *Poecilia formosa*. *Chromosome Res.*, **30**, 443-457. DOI: [10.1007/s10577-022-09708-2](https://doi.org/10.1007/s10577-022-09708-2)
- Dedukh, D., Marta, A., Myung, R.Y., Ko, M.H., Choi, D.S., Won, Y.J., & Janko, K. (2024a).** A cyclical switch of gametogenic pathways in hybrids depends on the ploidy level. *Commun Biol.*, **7**, 424. DOI: [10.1038/s42003-024-05948-6](https://doi.org/10.1038/s42003-024-05948-6)
- Dedukh, D., Lisachov, A., Panthum, T., Singchat, W., Matsuda, Y., Imai, Y., Janko, K., & Srikulnath, K. (2024b).** Meiotic deviations and endoreplication lead to diploid oocytes in female hybrids between bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) and North African catfish (*Clarias gariepinus*). *Front Cell Dev Biol*, **12**, 1465335. DOI: [10.3389/fcell.2024.1465335](https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1465335)
- Dedukh, D., Kulikova, T., Dobrovolskaia, M., Maslova, A., & Krasikova, A. (2025).** Lampbrush chromosomes of *Danio rerio*. *Chromosome Res.*, **33**, 2. DOI: [10.1007/s10577-024-09761-z](https://doi.org/10.1007/s10577-024-09761-z)
- Delobel, N., & Delavault, R. (1971).** Lampbrush chromosomes in *Echinaster sepositus* (Echinoderm, Asteroidei). *Caryologia*, **24**, 251-259. DOI: [10.1080/00087114.1971.10796433](https://doi.org/10.1080/00087114.1971.10796433)
- Derdak, A., Jędrzejowska, I., & Małol, J. (2024).** The ovary structure in terrestrial parasitengona mites: The case of Trombididae (Acariformes: Parasitengona). *J. Morphol.*, **285**, e21774. DOI: [10.1002/jmor.21774](https://doi.org/10.1002/jmor.21774)
- Domínguez-Castanedo, O., Hernandez-Coronado, C.G., Martínez-Espinosa, D.A. & Rosales-Torres, A.M. (2024).** Reproductive morphophysiology of an iteroparous batch spawner fish: from early follicle development to ovulation. *J. Fish Biol.*, **105**, 1298-1313. DOI: [10.1111/jfb.15891](https://doi.org/10.1111/jfb.15891)

- Dudzik, A., Dedukh, D., Crochet, P.A., Rozenblut-Kościsty, B., Rybka, H., Doniol-Valcroze, P., Choleva, L., Ogińska, M., & Chmielewska, M. (2023). Cytogenetics of the hybridogenetic frog *Pelophylax grafi* and its parental species *Pelophylax perezi*. *Genome Biol Evol*, *15*, evad215. DOI: [10.1093/gbe/evad215](https://doi.org/10.1093/gbe/evad215)
- Fabergé, A.C. (1970). A doublet structure in the loops of lampbrush chromosomes of the newt, *Taricha granulosa*. *Caryologia*, *23*, 241-250.
- Fuentes, S.N., Awruch, C.A., Moya, C., Wehitt, A., & Díaz Andrade, M.C. (2023). First detailed description of follicle development in a chimaeroid, the American elephant fish *Callorhynchus callorhynchus*. *Theriogenology Wild*, *2*, 100037. DOI: [10.1016/j.therwi.2023.100037](https://doi.org/10.1016/j.therwi.2023.100037)
- Gaginskaya, E.R. (1972). The nuclear structures in oocytes of adult birds. I. Chromosome behaviour during the oocyte cytoplasm growth. *Tsitologiya*, *14*, 426-432.
- Gall, J.G. (1954). Lampbrush chromosomes from oocyte nuclei of the newt. *J Morphol*, *94*, 283-351. DOI: [10.1002/jmor.1050940203](https://doi.org/10.1002/jmor.1050940203)
- García-Valdez, V., Sánchez-Loria, O.L., & Chamut, S. (2019). Oogenesis and ovarian histology of the South American lizard *Salvator merianae*. *Rev Agron Noroeste Argent*, *39*, 141-154.
- Giorgi, F., & Galleni, L. (1972). The lampbrush chromosomes of *Rana esculenta* L. (Amphibia-Anura). *Caryologia*, *25*, 107-123. DOI: [10.1080/00087114.1972.10796470](https://doi.org/10.1080/00087114.1972.10796470)
- Guerrini, F., Bucci, S., Ragghianti, M., Mancino, G., Hotz, H., Uzzell, T., & Berger, L. (1997). Genomes of two water frog species resist germ line exclusion in interspecies hybrids. *J Exp Zool*, *279*, 163-176. DOI: [10.1002/\(sici\)1097-010x\(19971001\)279:2<163::aid-jez7>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-010x(19971001)279:2<163::aid-jez7>3.0.co;2-m)
- Guraya, S.S. (1989). *Ovarian Follicles in Reptiles and Birds*, Springer, Berlin, 285p.
- Hei, N., Yang, P., Yang, Y., Liu, J., Bao, H., Liu, H., Zhang, H., & Chen, Q. (2010). Fine structural observation on the oogenesis and vitellogenesis of the Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*). *Zygote*, *18*, 109-120. DOI: [10.1017/S0967199409990116](https://doi.org/10.1017/S0967199409990116)
- Hernández-Franyutti, A., Uribe Aranzábal, M.C., & Guillet, L.J. Jr. (2005). Oogenesis in the viviparous matrotrophic lizard *Mabuya brachypoda*. *J Morphol*, *265*, 152-164. DOI: [10.1002/jmor.10347](https://doi.org/10.1002/jmor.10347)
- Ibrahim, M.M., & Wilson, I.B. (1989). Light and electron microscope studies on ovarian follicles in the lizard *Chalcides ocellatus*. *J. Zool.*, *218*, 187-208. DOI: [10.1111/j.1469-7998.1989.tb02532.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1989.tb02532.x)
- Igorova, V., Naraine, R., Psenicka, M., Zelazowska, M. & Sindelka, R. (2022). Comparison of RNA localization during oogenesis within *Acipenser ruthenus* and *Xenopus laevis*. *Front Cell Dev. Biol.*, *10*, 982732. DOI: [10.3389/fcell.2022.982732](https://doi.org/10.3389/fcell.2022.982732)
- Ikebe, C., Kuro-o, M., Ohtani, H., Kawase, Y., Matsui, T., & Kohno, S. (2005). Cytogenetic studies of Hynobiidae (Urodela) XIX. Morphological variation of sex chromosomes pairing behavior of sex lampbrush chromosomes in *Hynobius quelpaertensis* (Mori) from Cheju Island, South Korea. *Chromosome Res.*, *13*, 157-167. DOI: [10.1007/s10577-005-8036-x](https://doi.org/10.1007/s10577-005-8036-x)
- Imoh, H. (1981). Changes in nucleoli at maturation of newt oocyte. *Dev Growth Differ*, *23*, 33-39. DOI: [0.1111/j.1440-169X.1981.00033.x](https://doi.org/0.1111/j.1440-169X.1981.00033.x)
- Jesus, C., Munro, C., & Houlston, E. (2020). Managing the oocyte meiotic arrest - lessons from frogs and jellyfish. *Cells*, *9*, 1150. DOI: [10.3390/cells9051150](https://doi.org/10.3390/cells9051150)
- Keinath, M.C., Davidian, A., Timoshevskiy, V., Timoshevskaya, N. & Gall, J.G. (2021). Characterization of axolotl lampbrush chromosomes by fluorescence in situ hybridization and immunostaining. *Exp. Cell Res.*, *401*, 112523. DOI: [10.1016/j.yexcr.2021.112523](https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2021.112523)
- Kellner, K., Sauger, C., & Berthelin, C. (2024a). Lexicon of histological structures found in the ovaries and during the oogenesis of the megrim, *Lepidorhombus whiffiagonis* (Walbaum, 1792). HAL hal-04732902. DOI: [10.13155/75170](https://doi.org/10.13155/75170)
- Kellner, K., Berthelin, C., & Sauger, C. (2024b). Lexicon of histological structures found in the ovaries and during the oogenesis of the four-spot megrim, *Lepidorhombus boscii* (Risso, 1810). HAL hal-04732944. DOI: [10.13155/74844](https://doi.org/10.13155/74844)
- Kezer, J., & Macgregor, H.C. (1973). The nucleolar organizer of *Plethodon cinereus cinereus* (Green). II. The lampbrush nucleolar organizer. *Chromosoma*, *42*, 427-444. DOI: [10.1007/BF00399410](https://doi.org/10.1007/BF00399410)
- Kezer, J., León, P.E., & Sessions, S.K. (1980). Structural differentiation of the meiotic and mitotic chromosomes of the salamander, *Ambystoma macrodactylum*. *Chromosoma*, *81*, 177-197. DOI: [10.1007/BF00285948](https://doi.org/10.1007/BF00285948)
- King, H.D. (1908). The oogenesis of *Bufo lentiginosus*. *J. Morphol.*, *19*, 369-438. DOI: [10.1002/jmor.1050190202](https://doi.org/10.1002/jmor.1050190202)
- Koshel, E., Galkina, S., Saifitdinova, A., Dyomin, A., Deryusheva, S., & Gaginskaya, E. (2016). Ribosomal RNA gene functioning in avian oogenesis. *Cell Tissue Res.*, *366*, 533-542. DOI: [10.1007/s00441-016-2444-4](https://doi.org/10.1007/s00441-016-2444-4)
- Kulikova, T., Surkova, A., Zlotina, A., & Krasikova, A. (2020). Mapping epigenetic modifications on chicken lampbrush chromosomes. *Mol. Cytogenet.*, *13*, 32. DOI: [10.1186/s13039-020-00496-0](https://doi.org/10.1186/s13039-020-00496-0)
- Kunz, W. (1967a). Functional structures in the oocyte nucleus of *Locusta migratoria*. *Chromosoma*, *20*, 332-370. DOI: [10.1007/BF00326189](https://doi.org/10.1007/BF00326189)
- Kunz, W. (1967b). Lampbrush chromosomes and multiple nucleoli in orthopterans. *Chromosoma*, *21*, 446-462. DOI: [10.1007/BF00336952](https://doi.org/10.1007/BF00336952)

- Kunz, W. (1969).** The origin of multiple oocyte nucleoli from accessory DNA bodies in *Gryllus domesticus*. *Chromosoma*, **26**, 41-75. DOI: [10.1007/BF00319499](https://doi.org/10.1007/BF00319499)
- Kupriyanova, L., & Safronova, L. (2023).** A brief review of meiotic chromosomes in early spermatogenesis and oogenesis and mitotic chromosomes in the viviparous lizard *Zootoca vivipara* (Squamata: Lacertidae) with multiple sex chromosomes. *Animals*, **13**, 19. DOI: [10.3390/ani13010019](https://doi.org/10.3390/ani13010019)
- Lacroix, J.C. (1968).** Descriptive study of lampbrush chromosomes in the genus *Pleurodeles* (Amphibian, Urodele). *Ann Embr Morph*, **1**, 179-202.
- Lafontaine, J.G., & Ris, H. (1958).** An electron microscope study of lampbrush chromosomes. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **4**, 99-106. DOI: [10.1083/jcb.4.1.99](https://doi.org/10.1083/jcb.4.1.99)
- Leon, P.E., & Kezer, J. (1974).** The chromosomes of *Siren intermedia nettingi* (Goin) and their significance to comparative salamander karyology. *Herpetologica*, **30**, 1-11.
- Lukina, N.A. (1994).** Characterization of meiotic chromosomes in the oocytes of some Lacertidae (Reptilia). *Tsitologiya*, **36**, 323-329.
- Macgregor, H.C., & Uzzell, T.M. Jr. (1964).** Gynogenesis in salamanders related to *Ambystoma jeffersonianum*. *Science*, **143**, 1043-1045. DOI: [10.1126/science.143.3610.1043](https://doi.org/10.1126/science.143.3610.1043)
- Macgregor, H.C., & Kezer, J. (1970).** Gene amplification in oocytes with 8 germinal vesicles from the tailed frog *Ascaphus truei* Stejneger. *Chromosoma*, **29**, 189-206. DOI: [10.1007/BF00326078](https://doi.org/10.1007/BF00326078)
- Macgregor, H., & Klosterman, L. (1979).** Observations on the cytology of *Bipes* (Amphisbaenia) with special reference to its lampbrush chromosomes. *Chromosoma*, **72**, 67-87. DOI: [10.1007/BF00286430](https://doi.org/10.1007/BF00286430)
- Macgregor, H. (1980).** Recent developments in the study of lampbrush chromosomes. *Heredity*, **44**, 3-35. DOI: [10.1038/hdy.1980.2](https://doi.org/10.1038/hdy.1980.2)
- Macgregor, H.C., & del Pino, E. (1982).** Ribosomal gene amplification in multinucleate oocytes of the egg brooding hylid frog *Flectonotus pygmaeus*. *Chromosoma*, **85**, 475-488. DOI: [10.1007/BF00327344](https://doi.org/10.1007/BF00327344)
- Macgregor, H.C. (1984).** Lampbrush chromosomes and gene utilization in meiotic prophase. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, **38**, 333-347.
- Macgregor, H.C., Sessions, S.K., & Arntzen, J.W. (1990).** An integrative analysis of phylogenetic relationships among newts of the genus *Triturus* (family Salamandridae), using comparative biochemistry, cytogenetics and reproductive interactions. *J. Evol. Biol.*, **3**, 329-373. DOI: [10.1046/j.1420-9101.1990.3050329.x](https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1990.3050329.x)
- Machado-Santos, C., Santana, L.N.S., Vargas, R.F., Abidu-Figueiredo, M., Brito-Gitirana, L., & Chagas, M.A. (2015).** Histological and immunohistochemical study of the ovaries and oviducts of the juvenile female of *Caiman latirostris* (Crocodylia: Alligatoridae). *Zoologia*, **32**, 395-402. DOI: [10.1590/S1984-46702015000500008](https://doi.org/10.1590/S1984-46702015000500008)
- Mancino, G., & Barsacchi, G. (1966).** The maps of lampbrush chromosomes of *Triturus* (Urodele Amphibians). II. *Triturus helveticus helveticus*. *Rivista di Biologia (Perugia)*, **59**, 311-351.
- Mancino, G., & Barsacchi, G. (1969).** The maps of the lampbrush chromosomes of *Triturus* (Amphibia Urodele). III. *Triturus italicus*. *Ann Embryol Morphog*, **2**, 355-377.
- Mancino, G., Barsacchi, G., & Nardi, I. (1969).** The lampbrush chromosomes of *Salamandra salamandra* (L.) (Amphibia Urodele). *Chromosoma*, **26**, 365-387. DOI: [10.1007/BF00326350](https://doi.org/10.1007/BF00326350)
- Marta, A., Dedukh, D., Bartoš, O., Majtánová, Z., & Janko, K. (2020).** Cytogenetic characterization of seven novel satDNA markers in two species of spined loaches (*Cobitis*) and their clonal hybrids. *Genes*, **11**, 617. DOI: [10.3390/genes11060617](https://doi.org/10.3390/genes11060617)
- Masui, Y. (2001).** From oocyte maturation to the in vitro cell cycle: the history of discoveries of Maturation-Promoting Factor (MPF) and Cytostatic Factor (CSF). *Differentiation*, **69**, 1-17. DOI: [10.1046/j.1432-0436.2001.690101.x](https://doi.org/10.1046/j.1432-0436.2001.690101.x)
- Mishin, V.L. (1980).** Interrelation between the sexual and digestive systems of chaetognaths (Chaetognatha). *Arkhiv Anatomii Gistologii i émbriologii*, **79**, 63-67.
- Miura, I., Ohtani, H., Kashiwagi, A., Hanada, H., & Nakamura, M. (1996).** Structural differences between XX and ZW sex lampbrush chromosomes in *Rana rugosa* females (Anura: Ranidae). *Chromosoma*, **105**, 237-241. DOI: [10.1007/BF02528772](https://doi.org/10.1007/BF02528772)
- Moiseeva, E., Rabinowitz, C., Paz, G., & Rinkevich, B. (2017).** Histological study on maturation, fertilization and the state of gonadal region following spawning in the model sea anemone, *Nematostella vectensis*. *PLoS ONE*, **12**, e0182677. DOI: [10.1371/journal.pone.0182677](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182677)
- Montezol, M., Cassel, M., Silva, D., Ferreira, A., & Mehanna, M. (2018).** Gametogenesis and reproductive dynamics of *Rhinella schneideri* (Anura: Bufonidae): Influence of environmental and anthropogenic factors. *Acta Zool*, **99**, 93-104. DOI: [10.1111/azo.12195](https://doi.org/10.1111/azo.12195)
- Müller, W.P. (1974).** The lampbrush chromosomes of *Xenopus laevis* (Daudin). *Chromosoma*, **47**, 283-296. DOI: [10.1007/BF00328862](https://doi.org/10.1007/BF00328862)
- Nardi, I., Ragghianti, M., & Mancino, G. (1972).** Characterization of the lampbrush chromosomes of the marbled newt *Triturus marmoratus* (Latreille, 1800). *Chromosoma*, **37**, 1-22. DOI: [10.1007/BF00329554](https://doi.org/10.1007/BF00329554)
- Nie, H., Xu, Y., Zhang, Y., Wen, Y., Zhan, J., Xia, Y., Zhou, Y., Wang, R., & Wu, X. (2023).** The effects of endogenous FSH and its receptor on oogenesis and folliculogenesis in female *Alligator*

- sinensis*. *BMC Zool.*, **8**, 8. DOI: [10.1186/s40850-023-00170-z](https://doi.org/10.1186/s40850-023-00170-z)
- Ohtani, H. (1990). Lampbrush chromosomes of *Rana nigromaculata*, *R. brevipoda*, *R. plancyi chosena*, *R. p. fukienensis* and their reciprocal hybrids. *Scientific Report of the Laboratory for Amphibian Biology, Hiroshima University*, **10**, 165-221.
- Ohtani, H. (1995). Local variations in the lampbrush chromosomes of the Japanese pond frog, *Rana porosa*. *Caryologia*, **48**, 189-199. DOI: [10.1080/00087114.1995.10797329](https://doi.org/10.1080/00087114.1995.10797329)
- Omar, D.C. (2024). Ovarian structure and oogenesis of two endemic pupfishes from the Yucatán Peninsula: morphofunctional traits related with an estuarine life history. *Zoomorphology*, **143**, 443-458. DOI: [10.1007/s00435-024-00653-8](https://doi.org/10.1007/s00435-024-00653-8)
- Paschoal, L.R.P., & Zara, F.J. (2023). Assessing the ovarian development of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) phenotypes by means of an integrative analysis. *Tissue Cell*, **84**, 102166. DOI: [10.1016/j.tice.2023.102166](https://doi.org/10.1016/j.tice.2023.102166)
- Penrad-Mobayed, M., El Jamil, A., Kanhoush, R., & Perrin, C. (2009). Working map of the lampbrush chromosomes of *Xenopus tropicalis*: a new tool for cytogenetic analyses. *Dev. Dynam.*, **238**, 1492-1501. DOI: [10.1002/dvdy.21930](https://doi.org/10.1002/dvdy.21930)
- Porceddu, R., Porcu, C., Mulas, G., Spiga, S., & Follesa, M.C. (2024). Ontogenetic changes in the tyrosine hydroxylase immunoreactive preoptic area in the small-spotted catshark *Scyliorhinus canicula* (L., 1758) females: catecholaminergic involvement in sexual maturation. *Front Neuroanat*, **17**, 1301651. DOI: [10.3389/fnana.2023.1301651](https://doi.org/10.3389/fnana.2023.1301651)
- Ragghianti, M., Nardi, I., & Mancino, G. (1972). Completion of the morphology of the lampbrush chromosomes of the Italian Alpine newt *Triturus alpestris apuanus* Bonaparte. *Experientia (Basel)*, **28**, 588-590. DOI: [10.1007/BF01931895](https://doi.org/10.1007/BF01931895)
- Ragghianti, M., Bucci-Innocenti, S., & Mancino, G. (1978). Karyology of the Carpathian newt *Triturus montandoni* and cytotaxonomic considerations on the species group *T. vulgaris* (Urodela: Salamandridae). *Caryologia*, **31**, 243-256. DOI: [10.1080/00087114.1978.10796748](https://doi.org/10.1080/00087114.1978.10796748)
- Rogers, R.E., & Browder, L.W. (1977). Morphological observations on cultured lampbrush-stage *Rana pipiens* oocytes. *Dev. Biol.*, **55**, 135-147. DOI: [10.1016/0012-1606\(77\)90325-6](https://doi.org/10.1016/0012-1606(77)90325-6)
- Saifitdinova, A.F., Galkina, S.A., & Gaginskaya, E.R. (2021). The Evolution of concepts about the biological role of lampbrush chromosomes. *Russ. J. Genet.*, **57**, 499-514. DOI: [10.1134/S1022795421050100](https://doi.org/10.1134/S1022795421050100)
- Sauger, C., Quinquis, J., Berthelin, C., Lepoittevin, M., Elie, N., Dubroca, L., & Kellner, K.A. (2023). Quantitative histologic analysis of oogenesis in the flatfish Species *Pleuronectes platessa* as a tool for fisheries management. *Animals*, **13**, 2506. DOI: [10.3390/ani13152506](https://doi.org/10.3390/ani13152506)
- Solovei, I., Gaginskaya, E., Hutchison, N., & Macgregor, H. (1993). Avian sex chromosomes in the lampbrush form: the ZW lampbrush bivalents from six species of bird. *Chromosome Res.*, **1**, 153-166. DOI: [10.1007/BF00710769](https://doi.org/10.1007/BF00710769)
- Srivastava, M.D.L., & Bhatnagar, A.N. (1962). Lampbrush chromosomes of *Rana cyanophlyctis*. *Cytologia*, **27**, 60-71. DOI: [10.1007/BF00710769](https://doi.org/10.1007/BF00710769)
- Stille, B., & Dävring, L. (1980). Meiosis and reproductive strategy in the parthenogenetic gall wasp *Diplolepis rosae* (L.) (Hymenoptera, Cynipidae). *Hereditas*, **92**, 353-362. DOI: [10.1111/j.1601-5223.1980.tb01720.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1980.tb01720.x)
- Sumner, A.T. (2003). *Chromosomes: organization and function*, Blackwell Science Ltd., Oxford, 304p.
- Torgasheva, A.A., Malinovskaya, L.P., Zadesenets, K.S., Karamysheva, T.V., Kizilova, E.A., Akberdina, E.A. et al. (2019). Germline-restricted chromosome (GRC) is widespread among songbirds. *Proc Natl Acad Sci USA*, **116**, 11650-11845. DOI: [10.1073/pnas.1817373116](https://doi.org/10.1073/pnas.1817373116)
- Tsvetkov, A.G., & Parfenov, V.N. (1994). Seasonal transformations in the lampbrush chromosomes and the morphogenesis of the karyosphere capsule in *Rana temporaria* oocytes detectable by an analysis of the isolated nuclear structures. *Tsitologiya*, **36**, 64-70.
- Tworzydło, W., Marek, M., & Kisiel, E. (2017). Meiosis, Balbiani body and early asymmetry of *Thermobia* oocyte. *Protoplasma*, **254**, 649-655. DOI: [10.1007/s00709-016-0978-7](https://doi.org/10.1007/s00709-016-0978-7)
- Ullerich, F.H. (1970). DNA content and chromosome structure in amphibians. *Chromosoma*, **30**, 1-37. DOI: [10.1007/BF00293907](https://doi.org/10.1007/BF00293907)
- Uribe, M.D.C.A., Omana, M.E.M., Quintero, J.G., & Guillelte, L.J. Jr. (1995). Seasonal variation in ovarian histology of the viviparous lizard *Sceloporus torquatus torquatus*. *J. Morphol.*, **226**, 103-119. DOI: [10.1002/jmor.1052260107](https://doi.org/10.1002/jmor.1052260107)
- Uribe, M.C.A., & Guillelte, L.J. Jr. (2000). Oogenesis and ovarian histology of the American alligator *Alligator mississippiensis*. *J Morphol*, **245**, 225-240. DOI: [10.1002/1097-4687\(200009\)245:3<225::AID-JMOR4>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1097-4687(200009)245:3<225::AID-JMOR4>3.0.CO;2-M)
- Uribe, M.C., & Grier, H.J. (2011). Oogenesis of microlecithal oocytes in the viviparous teleost *Heterandria formosa*. *J Morphol*, **272**, 241-57. DOI: [10.1002/jmor.10912](https://doi.org/10.1002/jmor.10912)
- Wallace, R.A., & Selman, K. (1981). Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Am Zool*, **21**, 325-343. DOI: [10.1093/icb/21.2.325](https://doi.org/10.1093/icb/21.2.325)
- Wang, X., & Pepling, M.E. (2021). Regulation of meiotic prophase one in mammalian oocytes. *Front Cell Dev. Biol.*, **9**, 667306. DOI: [10.3389/fcell.2021.667306](https://doi.org/10.3389/fcell.2021.667306)
- Weith, A., & Traut, W. (1980). Synaptonemal complexes with associated chromatin in a moth, *Ephesia kuehniella* Z. The fine structure of the W chromosomal heterochromatin. *Chromosoma*, **78**, 275-291. DOI: [10.1007/BF00327388](https://doi.org/10.1007/BF00327388)

-
- Wu, Z., Murphy, C., & Gall, J.G. (1986).** A transcribed satellite DNA from the bullfrog *Rana catesbeiana*. *Chromosoma*, **93**, 291-297. DOI: [10.1007/BF00327586](https://doi.org/10.1007/BF00327586)
- Żelazowska, M., & Halajian, A. (2019).** Previtellogenic oocytes of South African largemouth bass *Micropterus salmoides* Lacépède 1802 (Actinopterygii, Perciformes) - the Balbiani body, cortical alveoli and developing eggshell. *J. Morphol.*, **280**, 360-369. DOI: [10.1002/jmor.20948](https://doi.org/10.1002/jmor.20948)
- Żelazowska, M., & Halajian, A. (2020).** Asymmetry in the cytoplasm of oocytes of largescale yellowfish *Labeobarbus marequensis* Smith 1841 (Teleostei: Cypriniformes: Cyprinidae). *J. Morphol.*, **281**, 997-1009. DOI: [10.1002/jmor.21228](https://doi.org/10.1002/jmor.21228)
- Żelazowska, M., & Kujawa, R. (2022).** Microscopic study of the primary growth ovarian follicles of the pike-perch *Sander lucioperca* (Linnaeus 1758) (Actinopterygii, Perciformes). *Micron*, **160**, 103318. DOI: [10.1016/j.micron.2022.103318](https://doi.org/10.1016/j.micron.2022.103318)
- Zlotina, A., Dedukh, D., & Krasikova, A. (2017).** Amphibian and avian karyotype evolution: insights from lampbrush chromosome studies. *Genes*, **8**, 311. DOI: [10.3390/genes8110311](https://doi.org/10.3390/genes8110311)



Kontrollü Koşullarda Yetiştirilen Farklı Tathısu Balıklarında Kan Biyokimyasal Parametre Değerleri: Üre, Glukoz, Kreatinin, ALT, AST ve ALP

Mert Minaz^{1*} Akif Er¹ Kübra Ak¹ İlker Zeki Kurtoglu¹ Şevki Kayış¹

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 20.04.2025

Kabul Tarihi: 06.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Minaz, M., Er, A., Ak, K., Kurtoglu, İ.Z., & Kayış, Ş. (2025). Kontrollü Koşullarda Yetiştirilen Farklı Tathısu Balıklarında Kan Biyokimyasal Parametre Değerleri: Üre, Glukoz, Kreatinin, ALT, AST ve ALP. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 443-451. <https://doi.org/10.35229/jaes.1680313>

How to cite: Minaz, M., Er, A., Ak, K., Kurtoglu, İ.Z., & Kayış, Ş. (2025). Serum Biochemical Parameter Levels in Different Freshwater Fish Species Cultured Under Controlled Conditions: Urea, Glucose, Creatinine, ALT, AST and ALP. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 443-451. <https://doi.org/10.35229/jaes.1680313>

*<https://orcid.org/0000-0003-1894-9807>
<https://orcid.org/0000-0002-0052-5590>
<https://orcid.org/0000-0001-6809-2659>
<https://orcid.org/0000-0002-4214-7997>
<https://orcid.org/0000-0002-9391-7613>

***Sorumlu yazar:**

Mert Minaz
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su
Ürünleri Fakültesi, Rize, Türkiye
✉: mert.minaz@erdogan.edu.tr

Öz: Su ürünleri yetiştiriciliği, giderek büyüyen ve gelişen bir sektör haline gelmiştir. Bu büyümenin sürdürülebilirliği, sağlıklı balıkların yetiştirilmesiyle mümkündür. Bu bağlamda, üretim tesislerinde sağlıklı bireylerin fizyolojik durumlarının değerlendirilmesi vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için türlere özgü biyokimyasal referans değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, önemli ticari değere sahip üç balık türü olan sazan (*Cyprinus carpio*), Karaca mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve gökkuşağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*), yetişkin bireylerden elde edilen üre, glukoz, kreatinin, alanin aminotransferaz (ALT), aspartat aminotransferaz (AST) ve alkalen fosfataz (ALP) gibi temel biyokimyasal parametrelerin referans değerlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Balıkların sağlıklı bireyler olduğu ise mikrobiyolojik ve hematolojik testlerle doğrulanmıştır. Elde edilen veriler, türler arasında bazı parametrelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, yetiştiricilik faaliyetlerinde biyokimyasal izlemeye dayalı sağlık değerlendirmeleri için temel bir referans sunmaktadır. Ayrıca, gelecekte yapılacak çalışmaların bu türlerin farklı yaşam evrelerine odaklanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sazan, mersin balığı, alabalık, biyokimya, enzim.

Serum Biochemical Parameter Levels in Different Freshwater Fish Species Cultured Under Controlled Conditions: Urea, Glucose, Creatinine, ALT, AST and ALP

Abstract: Aquaculture has emerged as one of the fastest-growing sectors within food production. The long-term sustainability of this growth relies heavily on the ability to cultivate healthy fish. In this regard, monitoring the physiological condition of fish is critical for effective management in aquaculture facilities. Accurate health assessments require species-specific biochemical reference values. This study aimed to establish reference ranges for key blood biochemical parameters-urea, glucose, creatinine, alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), and alkaline phosphatase (ALP) in adult individuals of three economically important freshwater fish species: common carp (*Cyprinus carpio*), Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*), and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The health status of the sampled individuals was verified through microbiological and hematological evaluations. The results revealed statistically significant interspecies differences for several parameters. These findings provide a valuable biochemical baseline for health monitoring and disease management in aquaculture operations. Future studies are recommended to investigate individuals at different developmental stages to enhance the generalizability and practical application of these reference values.

Keywords: Common carp, sturgeon, trout, biochemistry, enzyme.

***Corresponding author's:**

Mert Minaz
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of
Fisheries, Rize, Türkiye
✉: mert.minaz@erdogan.edu.tr

GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, günümüzde küresel su ürünleri üretiminin %50'sinden fazlasını karşılamakta olup, 2030 yılı itibarıyla daha da büyük bir paya ulaşması beklenmektedir (FAO, 2018). Su ürünleri yetiştiriciliğindeki bu büyüme avcılıktan gelen doğal stokların azalması, iklim değişikliğinin sektör üzerindeki olumsuz etkileri, sürdürülebilir kalkınma prensipleri ve yetiştiriciler üzerinde oluşturulan farkındalık çalışmaları ile ilişkilidir. Bu doğrultuda, yoğun üretim yapılan tesislerde balık sağlığı ve yönetim uygulamaları ticari başarı açısından kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, balık sağlığının hızlı, non-invaziv ve maliyet etkin yöntemlerle izlenmesi gereklidir (Hrubec vd., 2000). Hematolojik ve biyokimyasal analizler balıklarda beslenme, hastalık ve su kalitesine bağlı stres durumlarını değerlendirmek için güvenilir analizlerdir (Fazio, 2019; Satheeshkumar vd., 2012).

Hematolojik profil; kirlilik, hipoksi, taşıma ve anestezi gibi çeşitli olumsuz çevresel süreçlere maruz kalmanın etkilerini gösterebilir (Minaz vd., 2022a; Sayed and Moneeb, 2015). Kan parametreleri, balıkların iç fizyolojik durumunu hastalık klinik olarak ortaya çıkmadan önce gösterebildiğinden, kültür ortamında yetiştirilen sucul organizmaların sağlık durumunu belirlemede güvenilir biyogöstergelerdir (Elahee and Bhagwant, 2007; Fazio vd., 2017; Gabriel vd., 2011; Minaz vd., 2022b; Tavares-Dias and De Moraes, 2007). Bu nedenle hematolojik parametreler, su ürünleri yetiştiriciliğinde stres koşullarının tespiti için rutin analizlerle birlikte kullanılabilir (Pavlidis vd., 2007).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde, balık sağlığının izlenmesi ve üretim verimliliğinin artırılması açısından karaciğer enzimlerinin (özellikle ALT, AST ve ALP) takibi büyük önem taşımaktadır. Bu enzimler, hepatik fonksiyon bozukluklarının erken teşhisinde biyokimyasal belirteçler olarak kullanılmakta ve karaciğer dokusundaki hasarları ortaya koymaktadır (Hrubec vd., 2000). Kan örneklerinden non-invaziv yöntemlerle elde edilen serumlar kullanılarak gerçekleştirilen bu analizler, balıkların fizyolojik durumu, toksik madde maruziyeti, beslenme kalitesi ve enfeksiyöz hastalıkların varlığı hakkında kapsamlı bilgiler sunar (Martínez-Porchas vd., 2009). Bu yönüyle, serum biyokimyası analizleri; pratik, ekonomik ve güvenilir olmaları nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliğinde rutin sağlık taramalarında yaygın olarak kullanılan temel bir yaklaşımdır (Blahova vd., 2025). Özellikle sürdürülebilir ve çevresel olarak kontrollü üretim sistemlerinde, bu tür non-invaziv biyogöstergelerin kullanımı, balık refahının korunmasına ve üretim kayıplarının en aza indirilmesine katkı sağlamaktadır.

Referans aralıklarının belirlenmesi, yetiştiricilikte sağlık yönetiminin temeli olarak kabul edilmekte ve üretim sürecinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem

taşımaktadır (Ak vd., 2023). Türler özgü biyokimyasal referans değerler, balıkların fizyolojik durumunun normal sınırlar içerisinde olup olmadığının değerlendirilmesine olanak tanır. Bu sayede hastalıkların erken tanısı, besleme rejimlerinin fizyolojik etkilerinin takibi ve çevresel stres faktörlerinin zamanında tespiti mümkün hale gelmektedir. Özellikle ticari ölçekte üretim yapan işletmelerde, bu tür parametrelerin rutin olarak izlenmesi, kayıpların azaltılması ve hayvan refahının korunması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ayrıca, referans değerlerin varlığı, veteriner hekimler ve su ürünleri uzmanlarının klinik karar alma süreçlerini destekleyerek, tedavi ve müdahale yaklaşımlarının bilimsel temellere dayanmasını sağlar.

Farklı balık türlerinde yapılan çalışmalarda türler arasında hatta aynı türün farklı kültür koşullarında yetiştirilmesine bağlı hematolojik ve biyokimyasal değerlerin değişebileceği rapor edilmiştir (Fazio vd., 2013). Dolayısıyla referans aralığı değerlerinin belirlenmesi için türe özgü çalışmalar yapılması gerekmektedir (Ak vd., 2023; Witeska vd., 2016). Mevcut çalışma bu kapsamda üç farklı balık türüne odaklanmıştır: Sazan (*Cyprinus carpio*), Karaca mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*). Dünya su ürünleri yetiştiriciliğinde en büyük paya sahip balıklardan biri olan sazan düşük trofik seviyeli bir sıcak su balığıdır (Minaz vd., 2024b). Sazan balığı, birçok Avrupa ülkesinde toplam balık üretiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır (Anton-Pardo vd., 2014). Çevresel koşullara yüksek uyum sağlamasıyla su ürünleri yetiştiriciliği için potansiyel bir adaydır (Manjappa vd., 2011). Diğer taraftan Karaca mersin balığı da sazan balığı gibi çevresel mekanizmalara karşı yüksek direnç gösterebilen bir türdür. Karaca mersin balıkları, yüksek pazarlanabilirliği ve havyar üretim potansiyeli sayesinde ekonomik açıdan değerli bir türdür (Bronzi vd., 2011). Ayrıca Tuna mersini, IUCN tarafından Tehdit Altındaki Türlerin Kırmızı Listesi'nde yer alan savunmasız balık türlerinden biridir (Friedrich vd., 2019). Bu iki türe göre daha yüksek bir trofik seviyede yaşayan gökkuşağı alabalığı ise besin bileşimi ve ticari değeri bakımından en çok tercih edilen soğuk su balıklarındandır (Rahimi vd., 2022). Çevresel koşullara diğer iki türe göre daha hassas olan bu tür daha yüksek çözünmüş oksijen (DO) ister. Bu üç tür için yetiştiricilik durumları incelendiğinde Türkiye'de yaygın olarak en fazla yetiştiriciliği yapılan tür gökkuşağı alabalığı olup, bu tür 73 ilde üretim görmektedir. Buna karşın, çalışmada yer alan aynalı sazan 14 ilde, Karaca mersin balığı ise yalnızca 1 ilde yetiştiricilik faaliyetleri kapsamında bulunmaktadır (Yıldırım, 2025). Sonuç olarak, bu üç tür; ekonomik değerleri, fizyolojik özellikleri ve üretim potansiyelleri açısından önemli kültür türleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda mevcut çalışma, sazan (*Cyprinus carpio*), Karaca mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus*

mykiss) türlerinde üre, glukoz, kreatinin, ALT, AST ve ALP parametrelerinin referans aralıklarını karşılaştırmalı olarak belirlemeyi amaçlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Kullanılan balıklar ve çalışma tasarımı: Tüm deneysel çalışmalar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Yerel Etik Kurulu tarafından kontrol edilmiş ve onaylanmıştır (Karar No: 2024/46). Çalışmada kullanılan balıkların ağırlıkları şu şekildedir: sazan balığı: 1485,7±103 g, Karaca mersin balığı: 3544,8±582 g ve gökkuşağı alabalığı: 284,8±21 g. Biyokimyasal testler ve hematolojik çalışmalar için her bir balık türünden 30'ar balık örneklenmiştir. Çalışmada kullanılacak balıklar sazan balıkları 2014 yılında Keban Barajından fakültemize getirilmiş yaklaşık 12 yaşındaki bireylerdir. Karaca mersin balıkları ise 2011 yılında Almanya'da özel bir işletmeden satın alınan yumurtalardan elde edilen yaklaşık 14 yaşındaki bireylerdir. Son olarak gökkuşağı alabalıkları ise senelik olarak rutin üretimi yapılan Su ürünleri Araştırma ve Uygulama Merkezine ait bireylerdir. Tüm balıklar kan alınmadan 15 gün öncesinde yüksek havalandırmalı kuyu suyunda 15 kg/m³ stok yoğunluğunda tutulmuşlardır ve son 2 gün boyunca yemlenmemişlerdir. Tanklardaki su sıcaklığı: 18±0,8 °C, çözünmüş oksijen (DO): 7,1±1,1 mg/L ve pH ise 7,22±0,14 olarak ölçülmüştür. Tüm bu su kalite parametreleri portatif bir multiparametrelili ölçüm cihazıyla ölçülmüştür (Hach HQ40d 58258-00, Loveland, CO).

Üç farklı balık türünden beşer adet alınarak balık sağlığı açısından bakteriyel, paraziter ve fungal olarak incelenmiştir. Öncelikle balıkların solungaç ve derilerinden sürüntü yoluyla, bağırsaklarından ise dışkı ile preparat örnekleri alınmıştır. Diğer taraftan balıkların dalak, böbrek, karaciğer ve kanından genel besi (TSA) yerine ekim yapılarak bakteriyel patojen kontrolü sağlanmıştır. Balık sağlığı açısından incelenen bireylerde bakteriyel, paraziter ve fungal bir patojen tespit edilmemiştir. Ayrıca balıklarda herhangi bir fizyolojik ve davranışsal anormallik rastlanmamıştır.

Hematolojik çalışmalar: Anestezi için karanfil yağına (100 mg/L) maruz bırakılan bireylerin kuyruk venasından 2,5 ml'lik bir enjektör yardımıyla kan örnekleri alınmıştır. Alınan kan numuneleri pıhtılaşmasının önlenmesi için EDTA K3 kan tüplerine alınır. Daha sonra sırasıyla kırmızı kan hücreleri (RBC) ve beyaz kan hücreleri (WBC), hematokrit oranı (HCT), hemoglobin konsantrasyonu (HGB) otomatik hematolojik kan sayıcı (Prokan-6800VET, Shenzhen, Çin) ile takip edilmiştir. Ayrıca eritrosit indeksleri olarak ortalama eritrosit hacmi (MCV), ortalama eritrosit hemoglobin (MCH) ve ortalama eritrosit hemoglobin konsantrasyonu (MCHC) dikkate alınmıştır.

Otomatik hemogram testi, kan hücrelerini elektriksel empedans yöntemine göre sayar ve boyutlandırır. Ayrıca kolorimetrik yöntemle HGB'yi saptar. Cihazdaki WBC ve RBC'nin sayım prensibi, bir açıklık sensöründen geçen bir parçacığın ürettiği elektrik direncindeki değişikliklerin ölçülmesine dayanır. Öte yandan, kana lizis ekleyerek, kırmızı kan hücresi hızla parçalanır ve hemoglobini serbest bırakır. Cihaz diğer hematolojik parametreleri MCV, RBC, HGB ve HCT'ye göre hesaplar.

Biyokimyasal analizler: Hematolojik parametreler için alınan kan numuneleri hematolojik ölçümler sonrasında biyokimyasal işlemler için santrifüj edilmiş ve plazma çıkarılmıştır. Bu amaçla 5000 g dönme hızında 10 dakika süreyle santrifüjleme yapılmıştır. Çıkan plazmalar bir otomatik mikro pipet ile endorf tüplerine alınmış ve hemen çalışmayacağı için -80°C'de saklanmıştır. Biyokimya testleri Alanine Aminotransferase (ALT), Aspartate Aminotransferase (AST), Alkaline Phosphatase (ALP), trigliserit, kreatinin, üre ve glukoz için kitler ile gerçekleştirilmiştir. Biyokimya cihazı Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Bünyesinde bulunan LT406-RX model Randox marka bir biyokimya cihazıdır. RX monaco, Randox Laboratories tarafından üretilen tam otomatik, rastgele erişimli bir klinik kimya analizörüdür. Bu cihaz, rutin ve özel testlerin yanı sıra acil (STAT) örneklemeyi de gerçekleştirebilir. Optimum konfigürasyonda, RX monaco saatte 170 fotometrik test yapabilme kapasitesine sahiptir. RX monaco, fotometrik ölçüm prensibiyle çalışır. Cihaz, 340 nm ile 800 nm arasında 12 farklı dalga boyunda ölçüm yapabilen bir difraksiyon ızgarası kullanır. Bu geniş dalga boyu aralığı, çeşitli kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır.

Grafiksel analizler: Hematolojik parametrelere ait tüm veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Grafikler Origin Pro 2025 (Learning Edition) programı ile çizilmiştir. Box-plot grafiklerinde kutuların alt noktası %25'inci, üst noktaları ise %75'inci değeri göstermektedir. İpliklerin üst noktası maksimum, alt noktası minimum ve kutu içerisindeki çizgi ise medyan değerini göstermektedir. Kutu içerisindeki yıldız (*) veri setindeki ortalama değeri göstermektedir. Referans değerler verildiği için gruplar arasında herhangi bir istatistiksel karşılaştırma yapılmamıştır.

BULGULAR

Çalışmada incelenen balıkların sağlıklı bireyler olduğunu ve çalışma dönemi içerisinde stres altında olmadıklarının kanıtı olarak mikrobiyolojik araştırmalara ek olarak hematolojik çalışmalar yapılmıştır. Tablo 1 üç farklı balık türü için hematolojik parametreleri göstermektedir. Buna göre WBC, LYM, MCV ve MCH değerleri türler arasında farklılık gösterirken en yüksek değerler sırasıyla mersin balığı, alabalık ve sazanda gözlenmiştir. RBC ise tam

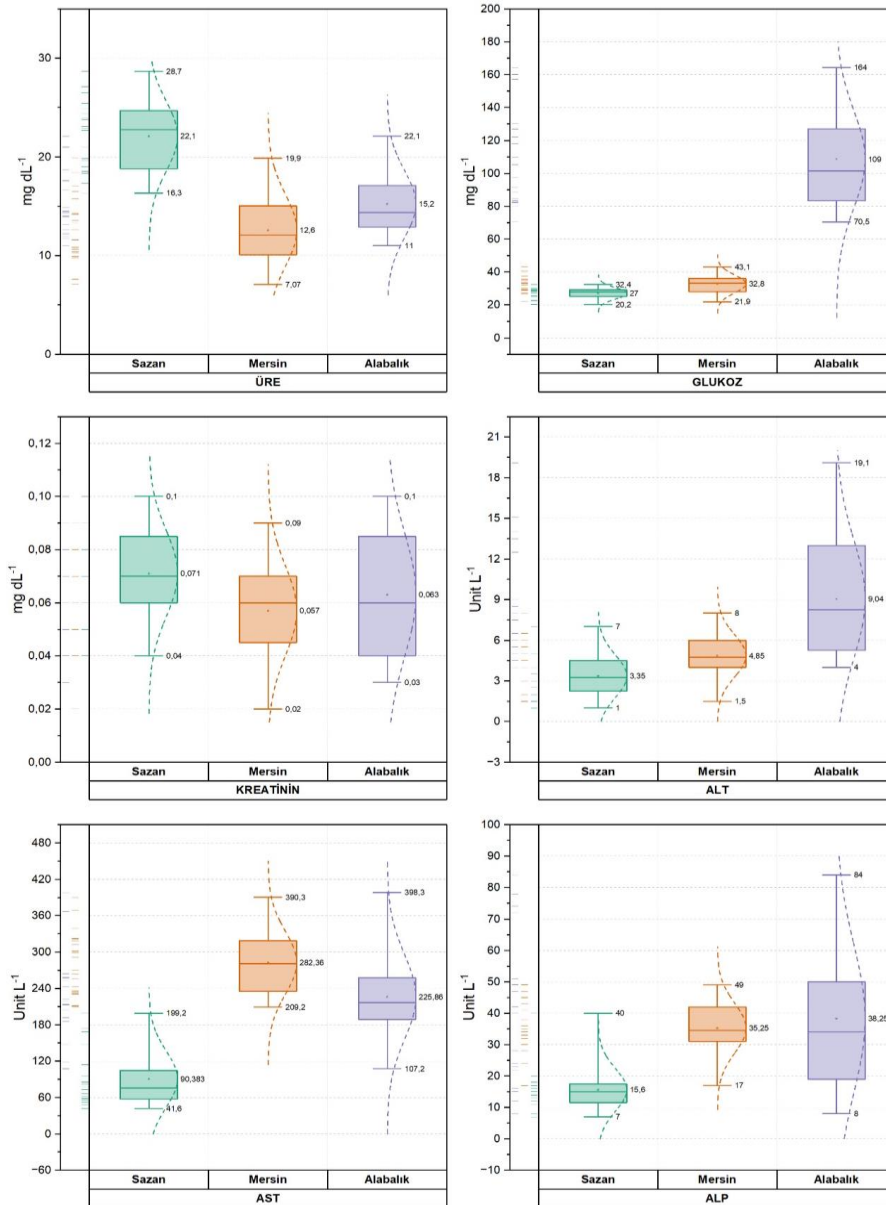
tersi senaryo ile sazan balıklarında diğer türlere göre daha yüksektir. Diğer kan parametreleri ise birbirine yakın değerlerde seyretmiştir.

Tablo 1. Üç farklı balık türü için gözlemlenen hematolojik parametreler.
Table 1. Hematological parameters observed for three different fish species.

	Sazan	Mersin	Alabalık
WBC ($10^3/\mu\text{L}$)	6,10 $\pm$ 3,2	44,75 $\pm$ 4,1	21,24 $\pm$ 4,6
LYM ($10^3/\mu\text{L}$)	6,34 $\pm$ 2,9	41,22 $\pm$ 3,5	20,79 $\pm$ 4,3
RBC ($10^6/\mu\text{L}$)	1,54 $\pm$ 0,3	0,81 $\pm$ 0,1	1,23 $\pm$ 0,1
HGB (g/dL)	9,56 $\pm$ 1,8	10,74 $\pm$ 1,0	10,35 $\pm$ 1,3
HCT (%)	17,86 $\pm$ 3,8	15,84 $\pm$ 1,6	20,15 $\pm$ 3,6
MCV (fL)	172,34 $\pm$ 8,4	199,42 $\pm$ 9,3	184,62 $\pm$ 57,4
MCH (pg)	52,16 $\pm$ 3,8	149,57 $\pm$ 8,9	83,42 $\pm$ 5,9
MCHC (g/dL)	54,24 $\pm$ 2,1	66,42 $\pm$ 4,2	47,37 $\pm$ 3,6

Kan plazmasındaki biyokimyasal testlere dayanarak (Şekil 1), üre sazan balıklarında (14,6-27,6 mg/dL), mersin (7,07-19,8 mg/dL) ve alabalığa (11,0-22,1 mg/dL) göre biraz daha yüksek gözlenmiştir. Glukoz

değerleri alabalıkta (73,6-164 mg/dL) daha yüksek, sazan (20,4-32,1 mg/dL) ve mersinde (24,8-43,1 mg/dL) ise daha dar varyans aralığı ile düşüktür. Kreatinin sazan (0,04-0,10 mg/dL), mersin (0,02-0,09 mg/dL) ve alabalık (0,03-0,10 mg/dL) için birbirine benzer referans değer aralığı göstermiştir. ALT, alabalıklar (4-19,1 Unit/L) için geniş bir referans aralığı sunarken, sazan (1-7 Unit/L) ve mersinler (1,5-8 Unit/L) için daha dar bir varyasyon göstermiştir. Benzer bir durum AST ve ALP için de geçerlidir. Alabalık (AST:55,3-475,8 Unit/L ve ALP:4-84 Unit/L) referans değerleri geniş aralıkta yer alırken, sazan (AST:41,6-199,2 Unit/L ve ALP:3-40 Unit/L) ve mersin (AST:209,2-390,3 Unit/L ve ALP:17-49 Unit/L) balıklarına ait değerler daha küçük bir aralıktadır.



Şekil 1. Üç farklı balık türü için biyokimyasal parametrelerin (üre, glukoz, kreatinin, ALT, AST, ALP) referans aralıkları

Figure 1. Reference ranges of biochemical parameters (urea, glucose, creatinine, ALT, AST, ALP) for three different fish species.

TARTIŞMA

Balıklarda hematolojik parametreler, stresin belirteci olarak değerlendirilmektedir (Elahee and Bhagwant, 2007; Fazio vd., 2017). Çünkü kan parametreleri, klinik bulgular ortaya çıkmadan önce balığın fizyolojik durumuna ilişkin bilgi verebilmektedir (Gabriel vd., 2011). Bu nedenle, bu parametreler diğer rutin analizlerle birlikte su ürünleri yetiştiriciliğinde stres koşullarını tespit etmek için kullanılabilir (Pavlidis vd., 2007). Balıklardaki olası hastalık durumlarının değerlendirilmesi, kan parametrelerinin tür ve yaşa özgü referans değerlerle karşılaştırılmasını gerektirir. Bu kapsamda mevcut çalışmada ölçülen kan parametrelerin asıl amacı çalışmada kullanılan balıkların sağlıklı ve stres altında olmadığını kanıtlamaktır (Minaz vd., 2023; Minaz and Kurtoglu, 2024). Bu çalışmada sazan balıklarına ait hematolojik değerler, önceki araştırmalarda bildirilen kontrol grubu verileriyle büyük ölçüde örtüşmektedir (Ghanbari vd., 2012; Harikrishnan vd., 2003). Bununla birlikte, mevsimsel değişimlerin sazan kan parametrelerine etkisini inceleyen bir çalışmada, mevsimler arası anlamlı fark saptanmamıştır (Kondera vd., 2019). Mevcut çalışma da bu çalışmadaki tüm kan parametrelerine benzer sonuçlar gözlenmiştir. Karaca mersin balığı için hematolojik parametreleri gösteren bir referans belirleme çalışmasına göre mevcut çalışmadaki kan değerleri sağlıklı balıklar için belirlenen kabul edilebilir sınır değerler içindedir (Ak vd., 2023). Alabalıklar üzerine yapılan diğer çalışmalarda bildirilen kontrol grubu verileri, balık boyutlarına bağlı bazı farklılıklar gösterse de, genel eğilim açısından bu çalışmadaki bulgularla benzerlik göstermektedir (Er vd., 2023; Minaz vd., 2025, 2024a, 2022b; Talas and Gulhan, 2009). En nihayetinde mevcut çalışmada kullanılan balıkların gerek mikrobiyolojik analizleri (patojen muhtevası) gerekse hematolojik parametreler açısından sağlıklı bireyler olduğu kanıtlanmıştır.

Balıklarda protein metabolizmasının bir ürünü olarak azotlu atıklar üretilmektedir (Wilkie, 2002). Bu atıklar başlıca olarak amonyak, üre ve ürik asit formundadır (Mommsen and Walsh, 1992). Tatlı su balıklarında azotlu atıklar amonyak formunda atılırken bazı stresli durumlarda üre seviyesinde bir artış gözlenir. Bunun temel nedeni fizyolojik strese neden olan stresörlerin balıklarda protein katabolizmasını arttırmasıdır (De Smet and Blust, 2001). Böylece kandaki üre seviyesi artar ve bir stres indikatörü olarak değerlendirilir. Kandaki üre konsantrasyonu bunların dışında beslenme düzeyi, metabolik durumu, karaciğer sağlığı ve böbrek fonksiyonu hakkında da bilgi verir. Özellikle böbrek fonksiyon bozuklukları, dehidrasyon, aşırı protein yıkımı veya beslenme bozuklukları gibi durumlarda üre seviyelerinde değişimler gözlenir (Hamed, 2019). Balıklarda plazma

glukoz düzeyi, akut ve kronik stres durumlarında hızla yükselen temel göstergelerden biridir. Stres durumlarında (örn. taşıma, aşırı stok yoğunluğu, elleme vb.), kortizol gibi stres hormonları salgınır.

Kortizol, glukoneogenez ve glikojenolizi artırarak karaciğerde glukoz sentezine neden olur (Barton, 2002; Pavlidis vd., 2015; Wendelaar Bonga, 1997). Bu süreç sonucunda kan plazmasındaki glukoz düzeyi artar. Bu nedenle glukoz, stres düzeyinin objektif ölçümü için güvenilir bir biyokimyasal göstergedir. Glukoz, başta beyin, kaslar ve eritrositler olmak üzere birçok dokunun birincil enerji kaynağıdır (Polakof vd., 2012). Özellikle anaerobik egzersiz veya oksijen yetersizliği durumlarında, glukoz metabolizması balığın hayatta kalmasında önemli rol oynar (Sprague and Arbeláez, 2011). Yetersiz veya dengesiz beslenme, açlık gibi durumlarda plazma glukoz seviyeleri düşebilir (hipoglisemi). Aşırı besleme veya metabolik hastalıklarda ise glukoz seviyesi yükselerek hiperglisemiye neden olabilir (Li vd., 2022). Glukoz düzeyleri; paraziter, bakteriyel ya da viral enfeksiyonlar sırasında da değişkenlik gösterebilir. Örneğin bir çalışmada *Aeromonas hydrophila* ile enfekte sazanlarda glukoz seviyesi kontrol gruplarına göre daha da artmıştır (Harikrishnan vd., 2003).

Kreatinin, kas hücrelerinde bulunan kreatin ve kreatin fosfatın yıkımı sonucu ortaya çıkan bir atık üründür (Wyss and Kaddurah-Daouk, 2000). Kas aktivitesi yüksek olan balıklarda, plazma kreatinin düzeyi bazal olarak biraz daha yüksek olabilir (Ajeniyi and Solomon, 2014). Fiziksel travma, yoğun yüzme aktivitesi, stres veya kas hasarı gibi durumlar da kreatinin düzeylerini etkileyebilir. Kreatinin, balıkların böbrekleri tarafından glomerüler filtrasyon yoluyla atılır (Beyenbach, 2004). Dolayısıyla, plazma kreatinin düzeyi, böbrek fonksiyonunun dolaylı bir göstergesidir. Balıkta böbrek hasarı, dehidratasyon, osmoregülasyon bozuklukları gibi durumlarda kreatinin seviyesi yükselir (Greenwell vd., 2003). Ağır metal maruziyeti (örneğin kurşun, kadmiyum) veya çevresel toksinler, balıklarda böbrek hasarına neden olabilir. Bu durum, kreatinin düzeyinde artış ile kendini gösterir (Balali-Mood vd., 2021; Soderland vd., 2010). Glukoz ve üre ile birlikte değerlendirildiğinde kreatinin, balığın metabolik sağlığı ve su kalitesine adaptasyon durumu hakkında bütüncül bilgi verir (Ding vd., 2023).

ALT ve AST protein ve amino asit metabolizmasında önemli bir rol oynarken (Kobayashi vd., 2020) ALP proteinlerden ve nükleotidlerden fosfat grubunu çıkaran bir hidrolazdır ve balık doğuştan bağışıklığında önemli bir rol oynar (Lallès, 2019). Sonuç olarak bu enzimler, karaciğer fonksiyonunun biyokimyasal göstergeleri olup; hücre zar bütünlüğü bozulduğunda kana geçmektedir (Bavia vd., 2024). ALT, esas olarak karaciğerde bulunan bir enzimdir. Karaciğerdeki hücre

hasarlar (enfeksiyon, toksin maruziyeti, oksidatif stres gibi durumlar) ALT seviyelerinde artışa neden olur (Li vd., 2015). Bu nedenle, ALT'deki artış hepatoselüler hasarın bir göstergesidir (Kew, 2000). ALP enzimi, karaciğer hücreleri ve safra yollarında yoğun olarak bulunur. Safra akımında tıkanıklık ya da hepatobiliyer stres durumlarında ALP seviyesi artar. AST, başta karaciğer, kalp, böbrek, iskelet kası ve eritrositlerde bulunan bir enzimdir. Bu nedenle AST artışı, karaciğerin yanı sıra kas ve diğer organlarda da doku hasarını gösterebilir (Radi vd., 2011).

Bu çalışmada incelenen bireyler, her üç türde de yetişkin yaş grubuna aittir. Balıkların yaşlarının ilerlemesiyle birlikte metabolik hızda meydana gelen değişikliklerin, bazı biyokimyasal parametrelerin plazma düzeylerinde dalgalanmalara yol açtığı bilinmektedir. Özellikle karaciğer enzim aktiviteleri (ALT, AST ve ALP), glukoz metabolizması ve azotlu bileşiklerin (üre, kreatinin) vücutta taşınma ve atılım mekanizmaları yaşa bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu durum, referans değerlerin yorumlanmasında yaş faktörünün mutlaka dikkate alınmasını gerektirir. Literatürde de benzer şekilde, farklı yaş gruplarında elde edilen biyokimyasal veriler arasında anlamlı farklılıklar bildirilmektedir (Fazio et al., 2013; Witeska et al., 2016). Dolayısıyla, bu çalışmada sunulan verilerin yaşa özgü bir biyofizyolojik durumu yansıttığı göz önünde bulundurulmalı ve elde edilen değerlerin yalnızca aynı yaş düzeyindeki bireyler için geçerli olduğu dikkate alınmalıdır.

SONUÇLAR

Bu çalışma, kültür ortamında yetiştirilen sazan, Karaca mersin balığı ve gökkuşağı alabalığı türleri için üre, glukoz, kreatinin, ALT, AST ve ALP parametrelerine ait referans aralıklarını ortaya koymuştur. Bu referans değerler, hem bilimsel araştırmalar hem de özel sektör yetiştiriciliğinde balık sağlığının ve refahının izlenmesi açısından önemli bir biyokimyasal temel oluşturmaktadır. Elde edilen referans değerler, balık besleme, toksikoloji ve enfeksiyonlara karşı dirençle ilgili deneysel çalışmalarda güvenilir bir karşılaştırma temeli olarak değerlendirilebilir. Ayrıca çalışma, biyokimyasal parametrelerin türler arasında anlamlı farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymuştur. Ek olarak özellikle alabalıktaki biyokimyasal parametreler için dikkat çeken geniş varyans aralığı biyokimyasal parametrelerin metabolik farklılıklar, yaş ve çevresel etkenlerden etkilenebildiğinin bir göstergesidir. Çalışmanın en büyük sınırlaması olarak sadece yetişkin bireylerde çalışılması ilerleyen dönemlerde farklı büyüklükteki balıklar için de referans değerlerinin belirlenmesi hususunda motivasyon sağlamaktadır. Ayrıca mevcut sonuçlar kapsamlı araştırmalar için temel oluşturabilecek nitelikte bir ön çalışma (pilot çalışma) olup, elde edilen bulgular ileride daha büyük örneklem

büyüklükleriyle yapılacak çalışmalar için önemli bir referans teşkil etmektedir. Literatürde de yaygın şekilde kabul gördüğü üzere, örneklem büyüklüğünün artırılması, biyokimyasal parametrelerin referans aralıklarının daha güvenilir biçimde tanımlanmasına katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Balıklara ait bazı biyokimyasal parametrelerin referans aralıklarının belirlendiği bu çalışmada analizlerin yapıldığı LT406-RX model Randox marka biyokimya cihazı Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Geliştirme Vakfı tarafından birimize kazandırılmıştır. Bu kapsamda Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Geliştirme Vakfına teşekkürlerimizi sunarız.

Mali Destek

Mevcut çalışma için herhangi bir mali destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarların açıklayacakları herhangi bir mali veya mali olmayan çıkarları yoktur.

Yazar Katkısı

Mert Minaz: Orjinal metin yazarlığı, görselleştirme, laboratuvar çalışması, çalışma tasarımı.

Akif Er: Metin düzenleme, laboratuvar çalışmaları, çalışma tasarımı.

Kübra Ak: Laboratuvar çalışmaları, metin düzenleme.

İlker Zeki Kurtoglu: Kaynak temini, danışmanlık.

Şevki Kayış: Kaynak temini, danışmanlık.

KAYNAKLAR

- Ajeniyi, S., & Solomon, R. (2014).** Urea And Creatinine Of Clarias Gariepinus In Three Different Commercial Ponds. *Nature and Science*, **12**(10). Retrieved from <http://www.sciencepub.net/nature>
- Ak, K., Er, A., & Minaz, M. (2023).** Kültür Kökenli Karaca Mersin Balığı (Acipenser gueldenstaedtii)'nın Hematolojik Parametrelerinin Referans Değerlerinin Belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **8**(1), 88-94. DOI: [10.35229/JAES.1231567](https://doi.org/10.35229/JAES.1231567)
- Anton-Pardo, M., Hlaváč, D., Másilko, J., Hartman, P., & Adámek, Z. (2014).** Natural diet of mirror and scaly carp (*Cyprinus carpio*) phenotypes in earth ponds. *Folia Zoologica*, **63**(4), 229-237. DOI: [10.25225/FOZO.V63.I4.A1.2014](https://doi.org/10.25225/FOZO.V63.I4.A1.2014)
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M.R., & Sadeghi, M. (2021).** Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic.

- Frontiers in Pharmacology*, **12**, 643972. DOI: [10.3389/FPHAR.2021.643972](https://doi.org/10.3389/FPHAR.2021.643972)
- Barton, B.A. (2002).** Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, **42**(3), 517-525. DOI: [10.1093/ICB/42.3.517](https://doi.org/10.1093/ICB/42.3.517)
- Bavia, L., da Silva, A.P., Carneiro, M.C., Kmecick, M., Pozzan, R., Esquivel-Muelbert, J., ..., & Prodocimo, M.M. (2024).** Health status biomarkers and hemato-biochemical indices in Nile tilapia. *Comparative Immunology Reports*, **7**, 200168. DOI: [10.1016/J.CIREP.2024.200168](https://doi.org/10.1016/J.CIREP.2024.200168)
- Beyenbach, K.W. (2004).** Kidneys sans glomeruli. *American Journal of Physiology - Renal Physiology*, **286**(5), 811-827. DOI: [10.1152/AJPRENAL.00351.2003](https://doi.org/10.1152/AJPRENAL.00351.2003)
- Blahova, J., Mikula, P., Marsalek, P., & Svobodova, Z. (2025).** Biochemical and antioxidant responses of common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to sublethal concentrations of the antiepileptic and analgesic drug gabapentin. *Veterinárni Medicina*, **70**(1), 20. DOI: [10.17221/75/2024-VETMED](https://doi.org/10.17221/75/2024-VETMED)
- Bronzi, P., Rosenthal, H., & Gessner, J. (2011).** Global sturgeon aquaculture production: an overview. *Journal of Applied Ichthyology*, **27**(2), 169-175. DOI: [10.1111/J.1439-0426.2011.01757.X](https://doi.org/10.1111/J.1439-0426.2011.01757.X)
- De Smet, H., & Blust, R. (2001).** Stress Responses and Changes in Protein Metabolism in Carp *Cyprinus carpio* during Cadmium Exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **48**(3), 255-262. DOI: [10.1006/EESA.2000.2011](https://doi.org/10.1006/EESA.2000.2011)
- Ding, L., Liu, Y., Wei, X., Geng, C., Liu, W., Han, L., ..., & Sun, Y. (2023).** Effects of Saline-Alkaline Stress on Metabolome, Biochemical Parameters, and Histopathology in the Kidney of Crucian Carp (*Carassius auratus*). *Metabolites*, **13**(2), 159. DOI: [10.3390/METABO13020159/S1](https://doi.org/10.3390/METABO13020159/S1)
- Elahee, K.B., & Bhagwant, S. (2007).** Hematological and gill histopathological parameters of three tropical fish species from a polluted lagoon on the west coast of Mauritius. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **68**(3), 361-371. DOI: [10.1016/J.ECOENV.2006.06.003](https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2006.06.003)
- Er, A., Minaz, M., İpek, Z. Z., Ak, K., Kurtoğlu, İ. Z., & Kayış, Ş. (2023).** Assessment of hematological indicators, histological alterations, and DNA damage in Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) exposed to the organophosphate malathion. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **104**, 104304. DOI: [10.1016/J.ETAP.2023.104304](https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2023.104304)
- FAO. (2018).** *The State of World Fisheries and Aquaculture: Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome. Retrieved from www.fao.org/publications
- Fazio, F., Ferrantelli, V., Saoca, C., Giangrosso, G., & Piccione, G. (2017).** Stability of haematological parameters in stored blood samples of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). *Veterinárni Medicina*, **62**, 401-405. DOI: [10.17221/51/2017-VETMED](https://doi.org/10.17221/51/2017-VETMED)
- Fazio, F. (2019).** Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. *Aquaculture*, **500**, 237-242. DOI: [10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.030](https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.030)
- Fazio, F., Marafioti, S., Torre, A., Sanfilippo, M., Panzera, M., & Faggio, C. (2013).** Haematological and serum protein profiles of *Mugil cephalus*: Effect of two different habitats. *Ichthyological Research*, **60**(1), 36-42. DOI: [10.1007/S10228-012-0303-1](https://doi.org/10.1007/S10228-012-0303-1)
- Friedrich, T., Reinartz, R., & Gessner, J. (2019).** Sturgeon re-introduction in the Upper and Middle Danube River Basin. *Journal of Applied Ichthyology*, **35**(5), 1059-1068. DOI: [10.1111/JAI.13966](https://doi.org/10.1111/JAI.13966)
- Gabriel, U.U., Akinrotimi, O.A., & Eseimokumo, F. (2011).** Haematological Responses of Wild Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* after Acclimation to Captivity. *Jordan Journal of Biological Sciences*, **4**(4), 225-230.
- Ghanbari, M., Jami, M., Domig, K.J., & Kneifel, W. (2012).** Long-term effects of water pH changes on hematological parameters in the common carp (*Cyprinus carpio* L.). *African Journal of Biotechnology*, **11**(13), 3153-3159. DOI: [10.5897/AJB10.1244](https://doi.org/10.5897/AJB10.1244)
- Greenwell, M.G., Sherrill, J., & Clayton, L.A. (2003).** Osmoregulation in fish mechanisms and clinical implications. *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice*, **6**(1), 169-189. DOI: [10.1016/S1094-9194\(02\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S1094-9194(02)00021-X)
- Hamed, S.A. (2019).** Neurologic conditions and disorders of uremic syndrome of chronic kidney disease: presentations, causes, and treatment strategies. *Expert Review of Clinical Pharmacology*, **12**(1), 61-90. DOI: [10.1080/17512433.2019.1555468](https://doi.org/10.1080/17512433.2019.1555468)
- Harikrishnan, R., Rani, M.N., & Balasundaram, C. (2003).** Hematological and biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*, following herbal treatment for *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquaculture*, **221**(1-4), 41-50. DOI: [10.1016/S0044-8486\(03\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00023-1)
- Hrubec, T.C., Cardinale, J.L., & Smith, S.A. (2000).** Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis Hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*, **29**(1), 7-12. DOI: [10.1111/J.1939-165X.2000.TB00389.X](https://doi.org/10.1111/J.1939-165X.2000.TB00389.X)
- Kew, M.C. (2000).** Serum aminotransferase concentration as evidence of hepatocellular damage. *Lancet*, **355**(9204), 591-592. DOI: [10.1016/S0140-6736\(99\)00219-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)00219-6)
- Kobayashi, A., Suzuki, Y., & Sugai, S. (2020).** Specificity of transaminase activities in the prediction of drug-induced hepatotoxicity. *The Journal of Toxicological Sciences*, **45**(9), 515-537. DOI: [10.2131/JTS.45.515](https://doi.org/10.2131/JTS.45.515)
- Kondera, E., Ługowska, K., & Witeska, M. (2019).** Annual changes in hematological parameters of common carp juveniles under laboratory

- conditions. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Animal Science*, **58**(2), 143-151. DOI: [10.22630/AAS.2019.58.2.15](https://doi.org/10.22630/AAS.2019.58.2.15)
- Lallès, J.P. (2019). Biology, environmental and nutritional modulation of skin mucus alkaline phosphatase in fish: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, **89**, 179-186. DOI: [10.1016/J.FSI.2019.03.053](https://doi.org/10.1016/J.FSI.2019.03.053)
- Li, S., Tan, H.Y., Wang, N., Zhang, Z.J., Lao, L., Wong, C.W., & Feng, Y. (2015). The Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Liver Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, **16**(11), 26087-26124. DOI: [10.3390/IJMS161125942](https://doi.org/10.3390/IJMS161125942)
- Li, X., Han, T., Zheng, S., & Wu, G. (2022). Hepatic Glucose Metabolism and Its Disorders in Fish. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, **1354**, 207-236. DOI: [10.1007/978-3-030-85686-1_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1_11)
- Manjappa, K., Keshavanath, P., & Gangadhara, B. (2011). Influence of sardine oil supplemented fish meal free diets on common carp (*Cyprinus carpio*) growth, carcass composition and digestive enzyme activity. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **6**(6), 604-613. DOI: [10.3923/JFAS.2011.604.613](https://doi.org/10.3923/JFAS.2011.604.613)
- Martínez-Porchas, M., Rafael Martínez-Córdova, L., & Ramos-Enriquez, R. (2009). Cortisol and Glucose: Reliable indicators of fish stress? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, **4**(2), 158-178.
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Kurtoğlu, İ. Z., & Kayış, Ş. (2024). Determining the appropriate concentration of an anesthetic mixture in three different fish species with the PROMETHEE decision model. *Frontiers in Veterinary Science*, **11**, 1492769. DOI: [10.3389/FVETS.2024.1492769](https://doi.org/10.3389/FVETS.2024.1492769)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Nane, İ. D., İpek, Z. Z., & Aslankoç, R. (2023). Bisphenol A Used in Plastic Industry Negatively Affects Wild Vimba Bream (*Vimba vimba*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **23**(8). DOI: [10.4194/TRJFAS22598](https://doi.org/10.4194/TRJFAS22598)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Nane, İ.D., İpek, Z.Z., Kurtoğlu, İ. Z., & Kayış, Ş. (2022). Short-term Exposure to Bisphenol A (BPA) as a Plastic Precursor: Hematological and Behavioral Effects on *Oncorhynchus mykiss* and *Vimba vimba*. *Water, Air, & Soil Pollution*, **233**(122), 1-12. DOI: [10.1007/S11270-022-05585-X](https://doi.org/10.1007/S11270-022-05585-X)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Nane, İ.D., İpek, Z.Z., Yalcın, A., Kurtoğlu, İ.Z., & Kayış, S. (2022). Investigation of long-term bisphenol A exposure on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Hematological parameters, biochemical indicator, antioxidant activity, and histopathological examination. *Chemosphere*, **303**, 135136. DOI: [10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135136](https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135136)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., & Serdar, O. (2025). Unlocking the potential of nutmeg oil: A sustainable alternative for rainbow trout anesthesia in aquaculture. *Aquaculture Reports*, **42**, 102773. DOI: [10.1016/J.AQREP.2025.102773](https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2025.102773)
- Minaz, M., & Kurtoğlu, İ.Z. (2024). Long-term exposure of endangered Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) to bisphenol A (BPA): growth, behavioral, histological, genotoxic, and hematological evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, **31**(21), 30836-30848. DOI: [10.1007/s11356-024-33168-2](https://doi.org/10.1007/s11356-024-33168-2)
- Mommsen, T.P., & Walsh, P.J. (1992). Biochemical and environmental perspectives on nitrogen metabolism in fishes. *Experientia*, **48**(6), 583-593. DOI: [10.1007/BF01920243](https://doi.org/10.1007/BF01920243)
- Pavlidis, M., Futter, W. C., Katharios, P., & Divanach, P. (2007). Blood cell profile of six Mediterranean mariculture fish species. *Journal of Applied Ichthyology*, **23**(1), 70-73. DOI: [10.1111/J.1439-0426.2006.00771.X](https://doi.org/10.1111/J.1439-0426.2006.00771.X)
- Pavlidis, M., Theodoridi, A., & Tsalafouta, A. (2015). Neuroendocrine regulation of the stress response in adult zebrafish, *Danio rerio*. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, **60**, 121-131. DOI: [10.1016/J.PNPBP.2015.02.014](https://doi.org/10.1016/J.PNPBP.2015.02.014)
- Polakof, S., Panserat, S., Soengas, J.L., & Moon, T.W. (2012). Glucose metabolism in fish: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, **182**(8), 1015-1045. DOI: [10.1007/S00360-012-0658-7](https://doi.org/10.1007/S00360-012-0658-7)
- Radi, Z.A., Koza-Taylor, P.H., Bell, R.R., Obert, L.A., Runnels, H.A., Beebe, J.S., ..., & Sadis, S. (2011). Increased Serum Enzyme Levels Associated with Kupffer Cell Reduction with No Signs of Hepatic or Skeletal Muscle Injury. *The American Journal of Pathology*, **179**(1), 240-247. DOI: [10.1016/J.AJP.2011.03.029](https://doi.org/10.1016/J.AJP.2011.03.029)
- Rahimi, R., Mirahmadi, S.A., Hajirezaee, S., & Fallah, A.A. (2022). How probiotics impact on immunological parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)? A systematic review and meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, **14**(1), 27-53. DOI: [10.1111/RAQ.12582](https://doi.org/10.1111/RAQ.12582)
- Satheeshkumar, P., Ananthan, G., Senthilkumar, D., Khan, A.B., & Jeevanantham, K. (2012). Comparative investigation on haematological and biochemical studies on wild marine teleost fishes from Vellar estuary, southeast coast of India. *Comparative Clinical Pathology*, **21**(3), 275-281. DOI: [10.1007/S00580-010-1091-5](https://doi.org/10.1007/S00580-010-1091-5)
- Sayed, A.E.-D.H., & Moneeb, R.H. (2015). Hematological and biochemical characters of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) cultivated using methyltestosterone. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, **72**, 36-42. DOI: [10.1016/J.JOBAZ.2015.03.002](https://doi.org/10.1016/J.JOBAZ.2015.03.002)
- Soderland, P., Lovekar, S., Weiner, D.E., Brooks, D. R., & Kaufman, J.S. (2010). Chronic Kidney Disease Associated With Environmental Toxins and Exposures. *Advances in Chronic Kidney Disease*, **17**(3), 254-264. DOI: [10.1053/J.ACKD.2010.03.011](https://doi.org/10.1053/J.ACKD.2010.03.011)

- Sprague, J.E., & Arbeláez, A.M. (2011).** Glucose Counterregulatory Responses to Hypoglycemia. *Pediatric Endocrinology Reviews*, 9(1), 463. Retrieved from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3755377/>
- Talas, Z. S., & Gulhan, M.F. (2009).** Effects of various propolis concentrations on biochemical and hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(7), 1994-1998. DOI: [10.1016/J.ECOENV.2009.04.011](https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2009.04.011)
- Tavares-Dias, M., & De Moraes, F.R. (2007).** Leukocyte and thrombocyte reference values for channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf), with an assessment of morphologic, cytochemical, and ultrastructural features. *Veterinary Clinical Pathology*, 36(1), 49-54. DOI: [10.1111/J.1939-165X.2007.TB00181.X](https://doi.org/10.1111/J.1939-165X.2007.TB00181.X)
- Wendelaar Bonga, S.E. (1997).** The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77(3), 591-625. DOI: [10.1152/PHYSREV.1997.77.3.591](https://doi.org/10.1152/PHYSREV.1997.77.3.591)
- Wilkie, M.P. (2002).** Ammonia excretion and urea handling by fish gills: present understanding and future research challenges. *Journal of Experimental Zoology*, 293(3), 284-301. DOI: [10.1002/JEZ.10123](https://doi.org/10.1002/JEZ.10123)
- Witeska, M., Lugowska, K., & Kondera, E. (2016).** Reference values of hematological parameters for juvenile *Cyprinus carpio*. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 36(4), 169-180.
- Wyss, M., & Kaddurah-Daouk, R. (2000).** Creatine and creatinine metabolism. *Physiological Reviews*, 80(3), 1107-1213. DOI: [10.1152/PHYSREV.2000.80.3.1107](https://doi.org/10.1152/PHYSREV.2000.80.3.1107)
- Yıldırım, Ö. (2025).** Su ürünleri yetiştiriciliğinin üretim ve ekonomik göstergelerinin Ege Bölgesi özelinde irdelenmesi. In: Aydın, M. E. & Ercişli, S. (Ed), Ege Bölgesinde Sucul ve Karasal Ekosistemlerde Flora-Fauna Biyoçeşitliliği, 1. ed., 476s, Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara, TR.



Phenolic Compound Profile of *Allium pervariensis*: Phytochemical Analysis by LC-HRMS and Potential Applications

İdris YOLBAŞ^{1*}

¹Türk Telekom Science High School, Siirt 56100, Türkiye

Received: 25.02.2025

Accepted: 06.07.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Yolbaş İ. (2025). Phenolic Compound Profile of *Allium pervariensis*: Phytochemical Analysis by LC-HRMS and Potential Applications. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 452-456. <https://doi.org/10.35229/jaes.1647066>

Atıf yapmak için: Yolbaş İ. (2025). *Allium pervariensis*'in Fenolik Bileşik Profili: LC-HRMS ile Fitokimyasal Analiz ve Potansiyel Uygulamaları. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 452-456. <https://doi.org/10.35229/jaes.1647066>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7529-3395>

*Corresponding author's:

İdris YOLBAŞ
Türk Telekom Science High School, Siirt
56100, Türkiye
✉: idrisyolbas@gmail.com

Abstract: *Allium pervariensis* is an endemic plant species native to the Southeastern Anatolia Region of Turkey. Phenolic compounds are important secondary metabolites in plants, known for their diverse biological activities, including antioxidant, anticancer, and anti-inflammatory effects. This study aimed to determine the phenolic compound contents of *A. pervariensis*. Plant samples were analyzed using the LC-HRMS (Liquid Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry) method. In this context, a total of 22 phytochemical compounds were detected, and their concentrations were determined. LC-HRMS analysis revealed that apigenin (45705.91 ng/g), vanillic acid (2336.86 ng/g), and ferulic acid (1644.26 ng/g) were the compounds with the highest concentrations. The data obtained indicate that *A. pervariensis* is a rich source of phenolic compounds. These findings suggest that *A. pervariensis* may have potential applications in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. However, further studies are needed to better understand the biological activities of the plant.

Keywords: *Allium pervariensis*, apigenin, ferulic acid, phytochemicals, vanillic acid.

Allium pervariensis'in Fenolik Bileşik Profili: LC-HRMS ile Fitokimyasal Analiz ve Potansiyel Uygulamaları

Öz: *Allium pervariensis*, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne özgü endemik bir bitki türüdür. Fenolik bileşikler, bitkilerde çeşitli biyolojik aktiviteleri, özellikle antioksidan, kanser karşıtı ve anti-enflamatuar etkileriyle bilinen önemli ikincil metabolitlerdir. Bu çalışmada *A. pervariensis* bitkisinin fenolik bileşik içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bitki örnekleri LC-HRMS (Sıvı Kromatografisi-Yüksek Çözünürlüklü Kütle Spektrometrisi) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda toplam 22 fitokimyasal bileşik tespit edilmiş ve konsantrasyonları belirlenmiştir. LC-HRMS analizi, en yüksek konsantrasyona sahip bileşiklerin apigenin (45705,91 ng/g), vanilik asit (2336,86 ng/g) ve ferulik asit (1644,26 ng/g) olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, *A. pervariensis*'in fenolik bileşikler açısından zengin bir kaynak olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, *A. pervariensis*'in farmasötik, kozmetik ve gıda endüstrilerinde potansiyel kullanım alanlarına sahip olabileceğini düşündürmektedir. Ancak, bitkinin biyolojik aktivitelerinin daha iyi anlaşılabilmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Allium pervariensis*, apigenin, ferulik asit, fitokimyasallar, vanilik asit.

INTRODUCTION

Medicinal plants have been used in the treatment of human and animal diseases for thousands of years and continue to play a significant role in modern pharmacology (Özdenefe et al., 2024; Sak et al., 2024; Sharifi-Rad et al., 2015; Yolbaş, 2024b). According to the World Health

Organization, approximately 20,000 plant species are used for medicinal purposes (Bellikci, 2011). Among them, species of the genus *Allium* have garnered considerable interest due to their pharmacological and economic importance (Mnayer et al., 2014).

Phenolic compounds are one of the most important secondary metabolite groups of plants and have various

biological activities such as antioxidant, anticancer, anti-inflammatory, neuroprotective and antibacterial (Ganesan & Xu, 2017; Roleira et al., 2018; Yolbaş, 2024c). These compounds play a critical role in the prevention of oxidative damage through their ability to inhibit free radicals (Digrak et al., 1999). In recent years, phenolic compounds have been extensively used in cosmetics, pharmaceuticals and food industry owing to their beneficial effects on health (Uğurlu & Bakkalbaşı, 2023; Yolbaş, 2024a).

Allium pervariensis is a new species of the genus *Allium*, described from Southeastern Anatolia, Turkey and has a limited distribution (Firat et al., 2018). The genus *Allium* includes more than 800 species globally, of which 180 are found in Turkey, including 70 endemic species (Choi & Oh, 2011; Ekşi et al., 2020). This plant, which attracts attention with its odor and taste, is also consumed as food, particularly in cheese production, due to its health benefits. Species of the genus *Allium*, especially garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa*), provide great health benefits as they contain sulfur compounds with antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties (Mnayer et al., 2014; Ndoye Foe et al., 2016).

This is the first study on the determination of phenolic content of *A. pervariensis*. The analysis of phenolic compounds will contribute to a better understanding of the pharmacological and industrial potential of this plant. In this context, it is aimed to determine the potential bioactive properties of *A. pervariensis*.

MATERIAL AND METHOD

Collection of plant materials: *A. pervariensis* is a naturally growing species in Pervari district of Siirt province, Turkey. The above-ground parts of the plant, including stems, leaves and flowers were collected in early May 2024. These plant samples were dried at 24 °C in a dark room for 20 days. The dried plant samples were ground and homogenized for analysis.

LC-HRMS analysis of *A. pervariensis*

Sample preparation: 10 mg of grounded powdered plant material samples were dissolved in a solution composed of methanol and water (10 mL each, 1:1 v/v). The mixture was filtered using a 0.22 µm polytetrafluoroethylene (PTFE) syringe filter and transferred to 1.5 mL vials for analysis.

Chromatography and high-resolution mass spectrometry conditions: The chromatographic analyses were conducted using a Phenomenex Gemini 3 µm NX-C18 110 Å (100 mm × 2 mm) column (Phenomenex, Torrance, CA, USA) and the column temperature was set at 30 °C. Elution was performed with 2% (v/v) glacial acetic acid solution in ultrapure water from the GFL 2004/Human power 1 ultrapure water system (Tokyo, Japan) as mobile phase A and 99.9% pure methanol (Sigma-Aldrich, St.

Louis, MO, USA) as mobile phase B. The separation was carried out at a flow rate of 0.3 mL/min with an injection volume of 20 µL, and the total run time was 20 minutes. Analysis was performed on an Orbitrap HRMS instrument (Exactive Plus™; Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) with a heated electrospray ionization interface and the instrument was operated in positive (full MS/all ion fragmentation [AIF]) and negative (full MS/AIF) modes. The analysis parameters used were: automatic gain control target 3e6, spray voltage 3.5 kV, S-lens RF level 50, maximum ion deposition time (per scan) 2 ms, ionization interface sheath gas flow rate 35 mL/min, auxiliary gas temperature 350 °C, auxiliary gas flow rate 7 mL/min, MS scan range 60-800 m/z, capillary temperature 350 °C, resolution 17,500x, and collision energy set to less than 25 V.

Chromatography and high-resolution mass spectrometry equipment: LC-HRMS analysis was performed using an Exactive Plus Orbitrap (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) equipped with a DIONEX UltiMate 3000RS autosampler with high-resolution MS composition function, LC system with a DIONEX UltiMate 3000RS pump, DIONEX UltiMate 3000RS column oven and heated electrospray ionization interface. Calibration of the Orbitrap-LC-MS instrument was performed with negative (Pierce™ Negative Ion Calibration Solution; Rockford, MA, USA) and positive (Pierce™, LTQ Velos ESI Positive Ion Calibration Solution) calibration solutions via an automatic syringe injector (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). For LC-HRMS analyses, simultaneous LC and MS were performed using TraceFinder 3.2 software (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) and data acquisition and processing were performed using Xcalibur software version 2.1.0.1140 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of LC-HRMS analysis, a total of 22 different phytochemical compounds were identified in *A. pervariensis* (Table 1). The highest concentrations of these compounds were apigenin (45705.91 ng/g), vanillic acid (2336.86 ng/g), 3-(4-hydroxyphenyl) propionic acid (2889.39 ng/g), ferulic acid (1644.26 ng/g) and p-coumaric acid (1392.08 ng/g). Some of the phytochemical compounds detected were also reported for other *Allium* species in the literature.

The phytochemical compounds identified in this study indicate that *Allium* species are a rich source of phenolic content. For example, quercetin has the potential to inhibit the growth of cancer cells (Zhang et al., 2015). Cinnamic acid derivatives show various pharmacological effects against lung, colon and breast cancer (Wang et al., 2019). Luteolin exhibits anticarcinogenic and

antiproliferative effects in human cancer cell lines (Yao et al., 2019), while apigenin shows similar properties (Imran et al., 2020). Caffeic acid may be effective in treating dermal diseases, preventing premature aging and increasing collagen production (Magnani et al., 2014).

The 22 phenolic compounds determined as a result of the analysis performed by the LC-HRMS method showed more phytochemical diversity than previously reported *Allium* species. While 12 phenolic compounds were determined in the methanol extract of *Allium tuncelianum*; (Takım et al., 2018); 13 phenolic compounds were determined in black garlic (Eyupoglu, 2019). Our findings reveal that *A. pervariensis* is rich in phenolics and may have a broader compound profile compared to other species.

Similarities and differences were observed between the phenolic compounds identified in our study and other *Allium* species in literature. In a study, 3-hydroxybenzoic acid, coumaric acid and epigallocatechin gallate were reported as major components in *Allium nigrum* L. and *Allium subhirsutum* L. (Emir et al., 2020). In our study, 3-hydroxybenzoic acid was not detected, while coumaric acid (1392.08 ng/g) was determined as an important component. Para-coumaric acid and ferulic acid were reported as major constituents in *Allium sativum* L. grown in Australia (Phan et al., 2019). Similarly, ferulic acid (1644.26 ng/g) was detected at high concentration in our study. In addition to components such as ferulic, coumaric, caffeic and protocatechic acids, flavonoids such as rutin, quercetin and kaempferol have been reported as major components in *Allium flavum* (Simin et al., 2013). In our study, caffeic acid (657.22 ng/g), protocatechic acid (434.56 ng/g), quercetin (1289 ng/g) and kaempferol (5531.81 ng/g) were detected. However, rutin and epigallocatechin gallate were not detected. Vanillic acid, previously reported as the highest in black garlic at 750.95 mg/L, was found to be 2336.86 ng/g in our study (Eyupoglu, 2019). It was reported that the highest analyte value in *Allium scorodoprasum* subsp. rotundum was malic acid (637 µg/g), while malic acid

(3304.12 µg/g) was found at the highest rate in *Allium vineale* (İzol, 2016). Malic acid was not detected in our study. Quercetin (13.6±0.06 µg/g) was found to be the highest phenolic compounds in red onion, p-hydroxybenzoic acid (18.6±0.6 µg/g and 10.5±0.07 µg/g) in green and white onion, and myricetin (4.5±0.10 µg/g) in garlic (Yünlü & Kır, 2016). Although quercetin (1289 ng/g) and p-hydroxybenzoic acid were detected in our study, myricetin was not detected. It is thought that these differences may be due to the genetic structure of the species, growing conditions and the analysis methods used.

The detection of high concentrations of flavonoids such as apigenin (45705.91 ng/g) and luteolin (5649.57 ng/g) reveals the potential importance of *A. pervariensis* in terms of biological activities. However, the study has some limitations. First, only the concentrations of phenolic compounds were determined, and further in vitro and in vivo studies are required to confirm the biological activity of these compounds. Environmental factors and genetic variation can influence the compound profiles of the plant. The LC-HRMS method used may be limited to determine the chemical structures of the compounds; therefore, additional validation methods could be used. Furthermore, toxicological analyses are required to determine the therapeutic potential of *A. pervariensis*.

This study provides important data on the analysis of phenolic compounds of *A. pervariensis* and sheds light on the pharmacological potential of this plant. The antioxidants, anticarcinogenic and anti-inflammatory effects of the phytochemical compounds identified suggest that this plant is a potential source of natural health. However, further in vivo and in vitro studies are needed to determine the exact biological activities of phenolic contents. Furthermore, the development of methods to increase bioavailability and the isolation and standardization of phenolic compounds are critical for future research. These findings emphasize that the plant may be a valuable raw material for the pharmaceutical and food industry.

Table 1. Phenolic compounds identified from *A. pervariensis*.

No	Target Compounds	RT	Quan Peak	Response	Curve Type	Average RF Response Ratio	Calculated Conc	Units
1	4-Hydroxybenzoic acid	7,65	137.02442 mz	847110047	Quadratic	0,000	1720,28	ng/ 1 g plant
2	Salicylic acid	N/F	137.02442 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
3	3-hydroxybenzoic acid (3-HBA)	N/F	137.02442 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
4	3-hydroxyphenylacetic acid (3-HPA)	N/F	107.05053 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
5	Syringic acid	8,81	197.04555 mz	162855318	Quadratic	0,000	677,13	ng/ 1 g plant
6	Gallic acid (3,4,5-trihydroxybenzoic acid)	N/F	169.01425 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
7	Protocatechuic acid (3,4-Dihydroxybenzoic acid)	6,22	153.01933 mz	278339871	Quadratic	0,000	434,56	ng/ 1 g plant
8	Protocatechuic acid ethyl ester (Ethyl 3,4-Dihydroxybenzoate)	N/F	181.05063 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
9	3,4-dihydroxybenzaldehyde (Protocatechuic aldehyde)	N/F	137.02442 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
10	2,4-dihydroxybenzoic acid (beta-Resorcylic acid)	N/F	153.01933 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
11	Vanillic acid	8,42	167.03498 mz	415968211	Quadratic	0,000	2336,86	ng/ 1 g plant
12	Homovanillic acid (4-Hydroxy-3-methoxyphenylacetic acid)	N/F	181.05063 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
13	Vanillin	N/F	151.04007 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
14	Genistic acid	N/F	153.01933 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
15	3,4-Dihydroxyphenylacetic acid (DOPAC, Homoprotocatechuic acid)	N/F	167.03498 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
16	Trans Cinnamic acid	N/F	147.04515 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
17	Coumaric acid (trans-3-Hydroxycinnamic acid)	9,67	163.04007 mz	911093456	Quadratic	0,000	1392,08	ng/ 1 g plant
18	Caffeic acid	8,59	179.03498 mz	643277143	Quadratic	0,000	657,22	ng/ 1 g plant
19	Caffeic acid phenyl ester (CAPE)	N/F	283.09758 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
20	Ferulic acid	9,93	193.05063 mz	695343275	Linear	0,000	1644,26	ng/ 1 g plant
21	Sinapic acid	9,96	223.06120 mz	27994844	Linear	0,000	61,68	ng/ 1 g plant
22	Chlorogenic acid	8,12	353.08781 mz	9432021	Linear	0,000	-160,57	ng/ 1 g plant
23	Quinic acid	0,82	191.05611 mz	2955940692	Linear	0,000	8132,96	ng/ 1 g plant
24	3-(4-Hydroxyphenyl) propionic acid	9,17	165.05572 mz	98568802	Linear	0,000	2889,39	ng/ 1 g plant
25	α-Cyano-4-hydroxycinnamic acid	N/F	188.03532 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant

26	Catechin (Cianidanol)-p	N/F	289.07176 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
27	Epigallocatechin	N/F	305.06668 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
28	Epigallocatechin gallate	N/F	457.07763 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
29	Chrysin (5,7-Dihydroxy-2-phenyl-4H-chromen-4-one)	N/F	253.05063 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
30	Apigenin (5,7-Dihydroxy-2-(4-hydroxyphenyl)-4H-chromen-4-one)	13,21	269.04555 mz	3,1957E+10	Linear	0,000	45705,91	ng/ 1 g plant
31	Acacetin (5,7-Dihydroxy-2-(4-methoxyphenyl)-4H-chromen-4-one)	N/F	283.06120 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
32	Rhoifolin (Apigenin 7-O- neohesperidoside)	11,18	431.09891 mz	602081592	Quadratic	0,000	2380,18	ng/ 1 g plant
33	Vicenin 2	9,21	593.15119 mz	16079959	Linear	0,000	100,18	ng/ 1 g plant
34	Apigenin 7-glucuronide	N/F	445.07763 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
35	Apigenin 7-glucoside	N/F	431.09837 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
36	Genkwanin (4',5-Dihydroxy-7-methoxyflavone, Apigenin 7-O-methyl ether)	N/F	283.06120 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
37	Apiin (Apigenin-7-(2-O-apiosylglucoside)	N/F	563.14063 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
38	Schaftoside	N/F	563.14063 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
39	Rutin hydrate M-OH2	N/F	609.14611 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
40	Luteolin	12,59	285.04046 mz	4338089066	Quadratic	0,000	5649,57	ng/ 1 g plant
41	Luteolin-7-O-glucuronide (Luteolin-7-O-β-D-glucuronide)	N/F	461.07255 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
42	Diosmetin (Luteolin 4'-methyl ether)	13,29	299.05611 mz	5741892418	Linear	0,000	12857,23	ng/ 1 g plant
43	Orientin	N/F	447.09328 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
44	Isoorientin	N/F	447.09328 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
45	Luteoloside (Luteolin 7-glucoside)	N/F	447.09328 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
46	Luteolin 7-rutinoside	N/F	593.15119 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
47	Galangin (3,5,7-Trihydroxy-2-phenyl-4H-chromen-4-one)	N/F	269.04555 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
48	Quercetin	12,26	301.03538 mz	1015612646	Linear	0,000	1289	ng/ 1 g plant
49	Isoquercitrin (Quercetin 3-glucoside)	10,87	463.08820 mz	451138933	Linear	0,000	1977,59	ng/ 1 g plant
50	Narcissin (Narcissoside, Isohammetin 3-rutinoside)	N/F	623.16176 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
51	Quercetin 3-rutinoside 7-glucoside	11,45	447.09296 mz	875180561	Quadratic	0,000	7873,8	ng/ 1 g plant
52	Isohammetin (Quercetin 3'-methyl ether)	13,2	315.05103 mz	603955536	Quadratic	0,000	1492,95	ng/ 1 g plant
53	Kaempferol	13,04	285.04046 mz	3136046786	Quadratic	0,000	5531,81	ng/ 1 g plant
54	Azeflin (Kaempferol 3-rhamnoside)	N/F	431.09837 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
55	Kaempferide	N/F	299.05611 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
56	Nicotiflorin (Kaempferol 3-rutinoside, Kaempferol 3-O-β -rutinoside)	N/F	593.15119 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
57	Astragalin (Kaempferol 3-glucoside)	11,45	447.09328 mz	590940754	Quadratic	0,000	3858,79	ng/ 1 g plant
58	Myricetin	N/F	317.03029 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
59	Fisetin hydrate	N/F	285.04046 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
60	Naringenin	N/F	271.06120 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
61	Sakuranetin (Naringenin 7-O-methyl ether)	N/F	285.07685 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
62	Narirutin (Narirutins, Naringenin rutinoside)	N/F	579.17193 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
63	Oleuropein	N/F	539.17633 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
64	Hesperidin	N/F	301.07138 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
65	Eriodictyol (3,4,5,7-Tetrahydroxyflavanone)	N/F	287.05501 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
66	Liquiritigenin	N/F	255.06628 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
67	Genistein (5,7-Dihydroxy-3-(4-hydroxyphenyl)-4H-chromen-4-one)	N/F	269.04555 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
68	Daidzin	N/F	415.10346 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
69	Formononetin (Neochanin)	N/F	267.06628 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
70	Ellagic acid	11,28	300.99899 mz	1691942678	Linear	0,000	8848,5	ng/ 1 g plant
71	Esculin hydrate	N/F	339.07216 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
72	Phloridzin	N/F	435.12967 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
73	Rosmarinic acid	N/F	359.07724 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
74	Glabridin	N/F	323.12888 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
75	Arbutin	N/F	271.08233 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
76	Emodin	N/F	269.04555 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
77	Pinocembrin	N/F	255.06694 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
78	Doxorubicin Hydrchloride	N/F	542.16678 mz	N/F	Quadratic	0,000	N/F	ng/ 1 g plant
79	Ethylgallate	N/F	197.04555 mz	N/F	Linear	0,000	N/F	ng/ 1 g plant

Note: N/F, not f

CONCLUSION

In this study, the phenolic compound profile of *A. pervariensis* was investigated in detail and it was determined that the species is a potential source of bioactive compounds for pharmaceutical, cosmetic and food industries. Especially the high concentrations of compounds such as quercetin, vanillic acid and ferulic acid are remarkable. The findings indicate that *A. pervariensis* is a rich source of phenolic compounds and has an important place among endemic *Allium* species. However, further in vivo and in vitro studies are recommended to confirm the biological activities and possible applications of these compounds.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank Mr. Mustafa Yavuz for his contributions and support during the plant identification and collection process.

Conflict of Interest: The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration: Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

REFERENCES

- Bellikli, E. (2011).** *Türkiye’de Gastrointestinal Sistem Rahatsızlıklarında Başvurulan Tıbbi Bitkilerin Etki Potansiyelleri*. Ege Üniversitesi.
- Choi, H.J., & Oh, B.U. (2011).** A partial revision of *Allium* (Amaryllidaceae) in Korea and north-eastern China. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **167**(2), 153-211.
- del Mar Verde Méndez, C., Forster, M.P., Rodríguez-Delgado, M.Á., Rodríguez-Rodríguez, E.M., & Díaz Romero, C. (2003).** Content of free phenolic compounds in bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador. *European Food Research and Technology*, **217**(4), 287-290. DOI: [10.1007/s00217-003-0762-8](https://doi.org/10.1007/s00217-003-0762-8)
- Digrak, M., Alma, M.H., İlçim, A., & Sen, S. (1999).** Antibacterial and antifungal effects of various commercial plant extracts. *Pharmaceutical Biology*, **37**(3), 216-220. DOI: [10.1076/phbi.37.3.216.6307](https://doi.org/10.1076/phbi.37.3.216.6307)
- Ekşi, G., Özkan, A.M.G., & Koyuncu, M. (2020).** Garlic and onions: An eastern tale. *Journal of Ethnopharmacology*, **253**, 112675.
- Emir, A., Emir, C., & Yıldırım, H. (2020).** Characterization of phenolic profile by LC-ESI-MS/MS and enzyme inhibitory activities of two wild edible garlic: *Allium nigrum* L. and *Allium subhirsutum* L. *Journal of Food Biochemistry*, **44**(4). DOI: [10.1111/jfbc.13165](https://doi.org/10.1111/jfbc.13165)
- Eyupoglu, O.E. (2019).** Antioxidant activities, phenolic contents and electronic nose analysis of black garlic. *International Journal of Secondary Metabolite*, **6**(2), 154-161.

- Firat, M., Koyuncu, M., & Ekşi, G. (2018). *Allium pervariensis*, sect. *Allium* (Amaryllidaceae), a new species from Siirt Turkey. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 152(3), 305-310. DOI: 10.1080/11263504.2016.1271051
- Ganesan, K., & Xu, B. (2017). A critical review on polyphenols and health benefits of black soybeans. *Nutrients*, 9(5), 455.
- Imran, M., Aslam Gondal, T., Atif, M., Shahbaz, M., Batool Qaisarani, T., Hanif Mughal, M., Salehi, B., Martorell, M., & Sharifi-Rad, J. (2020). Apigenin as an anticancer agent. *Phytotherapy Research*, 34(8), 1812-1828. DOI: 10.1002/ptr.6647
- İzol, E. (2016). *Bazı Allium (Yabani Sarımsak) Türlerinin Aflatoksin, Ağır Metal ve Sekonder Metabolit İçeriklerinin ICP-MS ve LC-MS/MS İle Belirlenmesi ve Biyolojik Aktivitelerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye. <https://acikerisim.dicle.edu.tr/items/052b25b8-fb19-4104-b4cc-5963527fe017>
- Magnani, C., Isaac, V.L.B., Correa, M.A., & Salgado, H.R.N. (2014). Caffeic acid: A review of its potential use in medications and cosmetics. *Analytical Methods*, 6(10), 3203-3210. DOI: 10.1039/C3AY41807C
- Mnayer, D., Fabiano-Tixier, A.-S., Petitcolas, E., Hamieh, T., Nehme, N., Ferrant, C., Fernandez, X., & Chemat, F. (2014). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of six essential oils from the Alliaceae family. *Molecules*, 19(12), 20034-20053. DOI: 10.3390/molecules191220034
- Ndoye Foe, F.M.-C., Tchinnang, T.F.K., Nyegue, A.M., Abdou, J.-P., Yaya, A.J.G., Tchinda, A.T., Essame, J.-L.O., & Etoa, F.-X. (2016). Chemical composition, in vitro antioxidant and anti-inflammatory properties of essential oils of four dietary and medicinal plants from Cameroon. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 117. DOI: 10.1186/s12906-016-1096-y
- Özdenefe, M.S., Kayış, F.B., & Takcı, A.M. (2024). *Pyrus elaeagnifolia* ve *Crithmum maritimum* L. Meyve ve Yaprak-Gövde Özütlerrinin Antibakteriyel, Antioksidan, Antidiyabetik Potansiyelleri ve Kimyasal Bileşimi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(4), Article 4. DOI: 10.35229/jaes.1511026
- Phan, A.D.T., Netzel, G., Chhim, P., Netzel, M.E., & Sultanbawa, Y. (2019). Phytochemical characteristics and antimicrobial activity of Australian grown garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Foods*, 8(9), 358.
- Roleira, F.M., Varela, C.L., Costa, S.C., & Tavares-da-Silva, E.J. (2018). Phenolic derivatives from medicinal herbs and plant extracts: Anticancer effects and synthetic approaches to modulate biological activity. *Studies in Natural Products Chemistry*, 57, 115-156.
- Sak, S., Özdenefe, M.S., Erol, Ü.H., & Takcı, A.M. (2024). Total Chemical Components, Biological Activity and Chromatographic Analyses of *Styrax officinalis* Fruit Extract. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(3), Article 3. DOI: 10.35229/jaes.1511075
- Sharifi-Rad, J., Hoseini-Alfatemi, S. M., Sharifi-Rad, M., & Setzer, W. N. (2015). Chemical Composition, Antifungal and Antibacterial Activities of Essential Oil from *Lallemantia royleana* (Benth. In Wall.) B enth. *Journal of Food Safety*, 35(1), 19-25. DOI: 10.1111/jfs.12139
- Simin, N., Orcic, D., Cetojevic-Simin, D., Mimica-Dukic, N., Anackov, G., Beara, I., Mitic-Culafic, D., & Bozin, B. (2013). Phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activities of small yellow onion (*Allium flavum* L. subsp. *flavum*, Alliaceae). *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 139-146.
- Takım, K., Kutlu, T., Karaaslan, M.G., & Yılmaz, M.A. (2018). Tunceli Dağ Sarımsağının (*Allium tuncelianum*) Rat Kalp Dokusu Antioksidan Enzim Düzeylerine Etkisi ve Fenolik Bileşenlerinin Karakterizasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarih ve Doğa Dergisi*, 21(5), 632-643.
- Uğurlu, S., & Bakkalbaş, E. (2023). Yeşil Cevizlerden Ultrason Destekli Ekstraksiyon Yöntemiyle Fenolik Bileşiklerin Eldesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), Article 1. DOI: 10.53433/yyufbed.1150133
- Wang, W., Jia, Q., Mukerjee, S., & Chen, S. (2019). Recent Insights into the Oxygen-Reduction Electrocatalysis of Fe/N/C Materials. *ACS Catalysis*, 9(11), 10126-10141. DOI: 10.1021/acscatal.9b02583
- Yao, Y., Rao, C., Zheng, G., & Wang, S. (2019). Luteolin suppresses colorectal cancer cell metastasis via regulation of the miR-384/pleiotrophin axis. *Oncology Reports*, 42(1), 131-141. DOI: 10.3892/or.2019.7136
- Yolbaş, İ. (2024a). *Bellevalia pseudolongipes* Plant: Comprehensive Analysis of the Elemental Composition and Total Phenolic and Flavonoid Contents. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(6), Article 6. DOI: 10.34248/bsengineering.1525176
- Yolbaş, İ. (2024b). Phenolic Compound Content and Antioxidant Activity of *Rheum ribes* Shells. *Journal of Chemistry*, 2024(1), 9151180. DOI: 10.1155/2024/9151180
- Yolbaş, İ. (2024c). Phytochemical profiling and antioxidant activity assessment of *Bellevalia pseudolongipes* via liquid chromatography-high-resolution mass spectrometry. *PeerJ*, 12, e18046. DOI: 10.7717/peerj.18046
- Yünlü, S., & Kır, E. (2016). Soğan (*Allium cepa*) ve sarımsaktaki (*Allium sativum*) bazı fenolik bileşiklerin HPLC yöntemiyle tayin edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 566-574.
- Zhang, X.-A., Zhang, S., Yin, Q., & Zhang, J. (2015). Quercetin induces human colon cancer cells apoptosis by inhibiting the nuclear factor-kappa B Pathway. *Pharmacognosy Magazine*, 11(42), 404-409. DOI: 10.4103/0973-1296.153096



Effect of Different Drying Methods on Biochemical Composition of *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* and *Haematococcus pluvialis*

Benan İNAN*

Bioengineering Department, Yıldız Technical University, Istanbul, Türkiye

Received: 14.03.2025

Accepted: 07.07.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: İnan, B. (2025). Effect of Different Drying Methods on Biochemical Composition of *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* and *Haematococcus pluvialis*. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 457-463. <https://doi.org/10.35229/jaes.1657943>

Atıf yapmak için: İnan, B. (2025). Farklı Kurutma Yöntemlerinin *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* ve *Haematococcus pluvialis*'in Biyokimyasal Kompozisyonuna Etkisi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 457-463. <https://doi.org/10.35229/jaes.1657943>

*<https://orcid.org/0000-0002-2315-3099>

*Corresponding author's:

Benan İNAN
Bioengineering Department, Yıldız Technical
University, Istanbul, Türkiye
✉: benan.inan@yildiz.edu.tr

Abstract: As a critical stage in the processing of microalgal biomass, drying has a big impact on the biochemical composition of the biomass. This study assesses how *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa*, and *Haematococcus pluvialis*' protein, lipid, and carbohydrate content are affected by drying using oven, lyophilizer and microwave. Because of its low rate of thermal degradation, the findings show that lyophilization maintains the highest protein (30–55%) and lipid (10–35%) content among all species. However, because of the breakdown of other macromolecules, oven-drying and microwave-drying raise the relative carbohydrate content by up to 35%. It was seen that the highest antioxidant activity was determined from *M. aeruginosa*. Similar to biochemical composition exhibit a tendency whereby freeze-dry maintains the highest levels, oven-drying causes moderate losses, and microwave-drying causes considerable deterioration. This is probably because antioxidant chemicals are sensitive to heat and are easily oxidized and degraded in hot environments. These results demonstrate that while oven-drying and microwave-drying may be more suited for applications needing biomass rich in carbohydrates, including the generation of biofuel, freeze-drying is the recommended technique for maintaining high-value biochemical components. Choosing the right drying technique is crucial for maximizing the use of biomass in a range of industrial applications.

Keywords: Antioxidant activity, biochemical composition, drying, microalgae.

Farklı Kurutma Yöntemlerinin *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* ve *Haematococcus pluvialis*'in Biyokimyasal Kompozisyonuna Etkisi

Öz: Mikroalg biyokütlesinin işlenmesinde kritik bir aşama olan kurutma, mikroalgin biyokimyasal bileşimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu çalışma, *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* ve *Haematococcus pluvialis*'in protein, lipid ve karbonhidrat içeriğinin etüv, liyofilizatör ve mikrodalga kullanılarak kurutulmasından nasıl etkilendiğini değerlendirmektedir. Bulgular, düşük sıcaklık nedeniyle liyofilizasyonun tüm türler arasında en yüksek protein (%30-55) ve lipid (%10-35) içeriğini koruduğunu göstermektedir. Ancak diğer makromoleküllerin parçalanması nedeniyle etüvde kurutma ve mikrodalga kurutma, göreceli olarak karbonhidrat içeriğini %35'e kadar daha yüksek çıkmasını sağlamıştır. En yüksek antioksidan aktivitenin *M. aeruginosa*'da olduğu belirlenmiştir. Biyokimyasal bileşime benzer şekilde dondurarak kurutma en yüksek seviyeleri korurken, etüvde kurutma ve mikrodalgada kurutma orta ve yüksek düzeyde kayıplara neden olmaktadır. Bunun nedeni muhtemelen antioksidan kimyasalların ısıya duyarlı olması ve sıcak ortamlarda kolayca oksitlenip parçalanmasıdır. Bu sonuçlar, etüvde kurutma ve mikrodalgada kurutmanın biyoyakıt üretimi de dahil olmak üzere karbonhidrat açısından zengin biyokütle gerektiren uygulamalar için daha uygun olabileceğini gösterirken, dondurarak kurutmanın yüksek değerli biyokimyasal bileşenleri korumak için önerilen teknik olduğunu göstermektedir. Doğru kurutma tekniğini seçmek, çeşitli endüstriyel uygulamalarda biyokütlenin kullanımını en üst düzeye çıkarmak için çok önemlidir.

*Sorumlu yazar:

Benan İNAN
Biyomühendislik Bölümü, Yıldız Teknik
Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
✉: benan.inan@yildiz.edu.tr

Anahtar kelimeler: Antioksidan aktivite, biyokimyasal bileşim, kurutma, mikroalgler.

INTRODUCTION

Microalgae's tremendous productivity and having no competition with terrestrial food crops have drawn a lot of attention as a possible feedstock for renewable energy. Due to their capacity to fix carbon dioxide, microalgae help lessen the environmental issues brought on by the usage of fossil fuels. In addition to biofuels, microalgae may be used to make high-value goods including food coloring, vitamins, and cosmetics, as well as animal feed (Hosseinzand et al., 2018). In this context, since the algal slurry produced by the upstream harvesting operations might be delicate due to having sensitive components, the drying procedure of microalgae is regarded as an essential phase. Drying algae effectively is crucial for the best possible storage since they can be vulnerable to microbiological degradation, contamination and unfavorable conditions for storage, all of which can reduce the quality of biomass (Aljabri et al., 2023). Also, it is a significant step because of the difficulties in producing biofuel from wet microalgae in situ transesterification, the most popular process for producing biodiesel (Hosseinzand et al., 2018).

A variety of methods, including, hot air drying, oven drying, traditional sun drying, spray drying, freeze drying and microwave drying are available for drying algae (Aljabri et al., 2023; Hernández et al., 2024). The conventional method of employing solar radiation to dry agricultural products is inexpensive, but it takes a long time, weather-dependent and the biomass is susceptible to contamination from dust, insects and other sources. In contrast to open sun drying, solar drying uses a solar dryer with a chamber that shields the material from direct exposure to dust, insects, rodents, rain, and other environmental factors while performing the drying process. In contrast to open sun drying, solar drying carries out in a vessel that shields the biomass. When compared to open sun drying, solar dryers can also achieve shorter drying times (Agbede et al., 2020; Aljabri et al., 2023). Convective oven drying, also known as hot air drying, is more hygienic and offers more drying uniformity because hot air is fed to the biomass at a specific velocity and air temperature. Unlike convective drying, microwave drying heats the biomass internally using electromagnetic microwaves, which accelerates the evaporation of water due to the rapid absorption of microwave energy by water molecules. Although this results in shorter drying times and faster drying rates, the heat-labile metabolites and bioactive substances may be adversely affected by oven drying (Agbede et al., 2020; Aljabri et al., 2023).

Methods like spray drying and freeze drying have grown in popularity for drying algal biomass. While spray-drying is time efficient and results with high-value goods,

freeze-drying can preserve valuable byproducts that could otherwise be lost, making it one of the safest drying methods. These approaches have the drawback of being expensive to operate and maintain (Aljabri et al., 2023; Van De Walle et al., 2024).

In the literature, the studies on microalgal drying are limited and new. Recently, Behera and Balasubramanian reported their studies on convective and microwave drying of microalgae. According to their studies, the lipid content of the microalgal consortium when dried with conventional method at 60 °C, resulted as 24% (w/w). On the contrary, when the mixed culture was dried with microwave method, the lipid content was found as 28% (w/w). Furthermore, it was claimed that the biochemical content of microwave-dried samples relative to oven-dried samples indicated that the former may have had a higher quantity of biochemical content than the latter (Behera & Balasubramanian, 2021). In another, study, it was reported that the freeze-drying method applied to *Tetraselmis subcordiformis* maintained the most proteins, lipids, and chlorophyll where oven drying fared poorly (Aljabri et al., 2023). Similar conclusions were also stated by Madhubalaji et al. who implied that each drying technique has pros and cons. It was highlighted that sun drying reduced the amount of minerals and carbs but increased the amount of soluble material and antioxidant activity. Although there is no control over the drying settings, the sun-drying method may be taken into consideration for financial considerations. Its slower rate of drying and relatively increased bacterial load are its drawbacks. According to Madhubalaji et al., the best approach is freeze drying since it preserves the most nutrients in the biomass, but it uses a lot of energy (Madhubalaji et al., 2021). Guldhe et al. investigated effectiveness of drying methods for recovering microalgal lipids to obtain biodiesel. It was reported that lipid amount after drying using the freeze-drying, oven-drying, and sun-drying methods, yielded 29.65%, 28.63%, and 28.33% lipid (w/w) respectively (Guldhe et al., 2014). Among these studies, it was seen that there are not any studies on a comparative analysis of drying methods on biochemical composition of *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa*, and *Haematococcus pluvialis*. The purpose of this article is to investigate how different drying methods such as oven drying, lyophilization (freeze-drying), and microwave drying affect the biochemical composition (protein, lipid, and carbohydrate content) and antioxidant activity of three microalgae species (*Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* and *Haematococcus pluvialis*). By understanding these effects, the study aims to identify the most suitable drying technique that preserves valuable biochemical components and optimizes biomass quality for various industrial applications, such as biofuel

production or health-related products. In order to carry out an effective microalgal processing in a variety of applications, including the production of biofuel, medicines, and functional foods, this study will close this knowledge gap by offering insightful information about how various drying techniques affect important biochemical components.

MATERIAL AND METHOD

Microalgae Cultivation: In this study, *Chlorella vulgaris* 211-11b, *Haematococcus pluvialis* 34-1a and *Microcystis aeruginosa* 1450-1 cultures were selected to evaluate the effect of various drying techniques on biochemical content and radical scavenging characteristic of these species. In this context, at room temperature, cultures were cultivated with 10% (v/v) inoculum in 500 mL Erlenmeyer flasks in BG-11 media at pH 7.8 in a shaking incubator with constant light (180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Microalgae were collected by centrifugation at 5000 rpm for 15 minutes after reaching the stationary phase, and they were subsequently dried with different methods (Sert et al. 2018).

Drying Process of the Microalgae: Microalgae were dried by lyophilization using a freeze-dryer (Christ Alpha, 1-2 LD plus, Germany), in an oven (Binder, Germany), microwave (Beko, MD1505, Türkiye). As for the lyophilization, cultures were freeze-dried at the temperature of -48°C for 24 h. In the drying process in oven, cultures were exposed to 60°C overnight. For the cultures that were dried with microwave was carried out at 600 W for a minute. All drying steps were carried out until approximately 1 gr dry microalgae were obtained. Once the samples were dried, they were ground into small pieces with a mortar and pestle and stored in a desiccator for characterization (Hosseinizand et al. 2018, Stramarkou et al. 2017).

Also, the samples with almost $70\pm 2\%$ moisture were evaluated for drying kinetics. Their weight was continuously recorded throughout the drying process of lyophilization and oven in order to determine the drying kinetics. Examination of a first-order kinetic model was carried out in order to describe the moisture transfer during the drying operations.

$$-dX/dt = k(X - X_e) \quad (1)$$

According to Kyriakopoulou et al., X represents material moisture content on dry basis during drying (g water g^{-1} dry solids), X_e represents equilibrium moisture content of dehydrated material (g water g^{-1} dry solids), k represents drying rate (min^{-1}), and t represents processing time (min) (Kyriakopoulou et al., 2013). In this step, only freeze-dry and oven have been considered since

measurements from microwave drying could not be possible.

Determination of Biochemical Content: The protein, lipid and carbohydrate content of dried microalgae were specified by the phenol Lowry method (Lowry et al., 1951), Bligh and Dyer method (Bligh & Dyer, 1959) and sulfuric acid method (Dubois et al., 1956), respectively. Every characterization analysis was performed three times and given as percentage of dry weight.

Determination of Radical Scavenging Characteristic: The total antioxidant activities of *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa*, and *Haematococcus pluvialis* were determined using the 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazil (DPPH) free radical scavenging method (Brand-Williams et al., 1995). In this method, firstly, lipid extracts of the samples were dissolved in methanol at the concentration of 1% w/v. After that, lipid extracts in methanol (0.1 ml) was added to 3.9 mL of a 6×10^{-5} mol/L methanol DPPH solution and absorbance at 515 nm was determined after 30 min.

The DPPH radical scavenging activity was calculated using the following formula:

$$\text{DPPH Radical Removal Activity (\%)} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100 \quad (2)$$

A0: Absorbance value of the control

A1: Absorbance value of sample or standard BHT was used as control.

Statistical Analysis: The data expressed as mean values $\pm$ standard deviation and one-way analysis of variance was carried out and a p value < 0.05 was marked as significant. All experiments were performed in triplicate (n = 3). For each triplicate, at least three measurements were performed.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 represented the results of weight change in microalgal samples before and after drying process. It was seen that, the highest moisture removal during the drying process time was observed with the microwave, and the oven and lyophilization resulted as close values, respectively. The calculation of drying kinetics was carried out using the experimental data that was presented in Figure 2. The estimation of the drying constants k was as follows: $k = 2.22 \times 10^{-6}$, 2.42×10^{-6} , and $2.18 \times 10^{-6} \text{ min}^{-1}$ and $k = 1.22 \times 10^{-6}$, $1.32 \times 10^{-6} \text{ min}^{-1}$ and 1.25×10^{-6} for freeze-dry and oven drying, respectively.

It was seen that the ultimate moisture content of the oven-dried microalgae was similar that of the freeze-dried microalgae samples. Although the material's surface dehydrated more quickly in the oven-treated samples, some moisture remained beneath the surface despite the sample's thin layer. The intense drying process produces a hard, dry

shell on the surface that prevents the remaining moisture from diffusing to the upper surface and, eventually, the air (Aljabri et al., 2023; Shekarabi et al., 2019; Stramarkou et al., 2017).

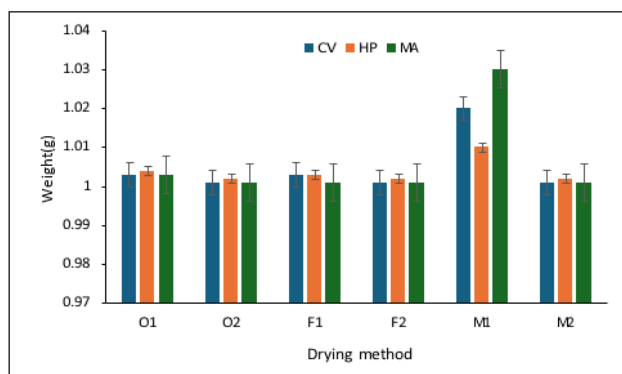


Figure 1. Results of weight change in microalgal samples before and after drying process. CV, HP and MA mean *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis* and *Microcystis aeruginosa*, respectively. O1 and O2, F1 and F2, and M1 and M2 mean the weights of the samples drying in oven, freeze-dry and microwave at the beginning and at the end of the process. Values are expressed as mean $\pm$ standard deviation, n=3. Values in the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

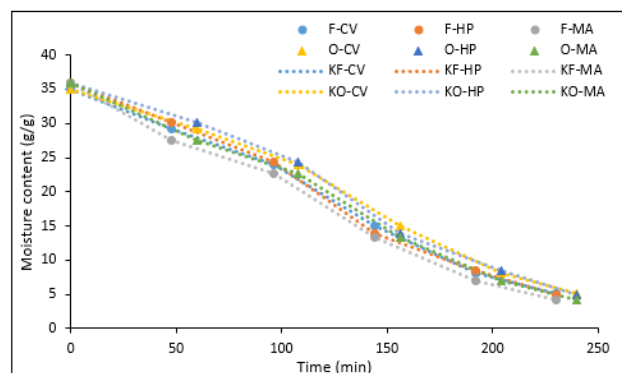


Figure 2. Drying kinetics of freeze-dried (F) and oven-dried (O) microalgal cultures. CV, HP and MA mean *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis* and *Microcystis aeruginosa*, respectively. KF and KO mean kinetics of the microalgal cultures.

Table 1. Biochemical composition of *H. pluvialis*, *M. aeruginosa*, and *C. vulgaris* determined after different drying methods.

Component (%)	Drying Method	<i>C. vulgaris</i>	<i>M. aeruginosa</i>	<i>H. pluvialis</i>
Protein	Freeze-Dry	50 $\pm$ 4	45 $\pm$ 2	30 $\pm$ 2
	Oven-Dry	40 $\pm$ 2	35 $\pm$ 3	25 $\pm$ 2
	Microwave-Dry	42 $\pm$ 1	38 $\pm$ 2	28 $\pm$ 1
Lipids	Freeze-Dry	15 $\pm$ 2	10 $\pm$ 3	25 $\pm$ 2
	Oven-Dry	10 $\pm$ 3	7 $\pm$ 2	18 $\pm$ 2
	Microwave-Dry	12 $\pm$ 1	8 $\pm$ 1	20 $\pm$ 2
Carbohydrates	Freeze-Dry	10 $\pm$ 2	15 $\pm$ 3	20 $\pm$ 3
	Oven-Dry	15 $\pm$ 2	20 $\pm$ 2	25 $\pm$ 3
	Microwave-Dry	12 $\pm$ 1	18 $\pm$ 1	22 $\pm$ 2

As for the biochemical content of microalgal samples, it was seen that type of the drying process affected the biochemical content determination clearly, especially for the lipid and content (Table 1).

The biochemical contents of *H. pluvialis*, *M. aeruginosa*, and *C. vulgaris* is strongly influenced by the drying process. Each of the three drying methods examined-freeze-drying, oven-drying, and microwave-drying have a unique effect on the retention of protein, lipid, and carbohydrates. The main causes of these

fluctuations, which affect macromolecular stability, include oxidation, water loss, and thermal degradation (Aljabri et al., 2023; Chaijan et al., 2017; Stramarkou et al., 2017).

The high protein content in freeze-dry can be due to the absence of thermal degradation, as water is removed by sublimation at low temperatures. On the other hand, oven-drying and microwave-drying can reduce the protein content of microalgae due to thermal denaturation and Maillard reactions, which can alter amino acid composition (Van De Walle et al., 2024; Zhang et al., 2022). As for the lipid content, the low processing temperature and lack of oxidation, which stop lipid peroxidation, are responsible for comparatively good lipid preservation in freeze-drying. On the contrary, lipid breakdown results with oven-drying and microwave-drying, with reductions of 5–10% in all species. Lipid oxidation, which happens when polyunsaturated fatty acids (PUFAs) react with oxygen at high temperatures, is the main cause of these losses (Schmid et al., 2022). The overall biomass quality for uses like the manufacture of biofuel is impacted by lipid breakdown under oven-drying and microwave-drying in *Haematococcus pluvialis*, making this effect especially noteworthy. Although lipid degradation was observed in *Haematococcus pluvialis* under oven and microwave-drying, particularly in polyunsaturated fatty acids (PUFAs), this effect may not negatively impact biodiesel production. In fact, PUFAs are associated with poor oxidative stability in biodiesel, as reported by Stansell et al. (2012). Therefore, a reduction in PUFA content could potentially enhance the fuel properties of the resulting biodiesel.

Carbohydrate concentration often rises during oven-drying and microwave-drying, in contrast to proteins and lipids. This pattern is seen in *Microcystis aeruginosa* (20–30% under oven drying) and *Haematococcus pluvialis* (rising to 25–35% under oven-drying). The breakdown of proteins and lipids is responsible for the apparent increase in the proportion of carbohydrates, which results in a relative enrichment of carbohydrates in the residual dry biomass (Megawati et al., 2020; Schmid et al., 2022).

The drying characteristics of marine *Chlorella sp.* biomass have been investigated by Amin et al. (2021) using three distinct techniques: freeze drying, oven drying, and solar drying. According to the study, oven drying was the quickest method for achieving a final moisture content below 10%, whereas freeze drying took the longest. Also, they discovered that the biomass that was freeze-dried had the maximum lipid content. Similarly, Kröger et al. (2019) (Sun et al., 2020) have examined how freeze-drying affects *Scenedesmus rubescens* microalgae extraction behavior. They discovered that the cell wall of microalgae is damaged by freeze-drying, which affects the amount of lipids that are extracted. The isolated lipids' quality is

unaffected by freeze-drying, though. The findings suggest that drying may change the composition or structure of microalgae, which could affect how well industrial-scale operations work. According to Ruiz-Domínguez et al. (2020), the strain *Muriellopsis* sp. (MCH35) grown in an open-raceways reactor in the north of Chile with seawater culture media and dry outdoor conditions is a viable option for economical lutein production, particularly in desert regions and for various biotechnological uses. Additionally, they discovered that compared to other methods like spray-drying, the freeze-drying process increased the lutein concentration and recovery by 0.3 to 2.5 times.

Behera and Balasubramanian, (2021) evaluated the performance of microwave-based drying using a power range of 360-900 W, and contrasted it with traditional oven drying (OD) at temperatures between 40 and 100 °C. With a larger effective diffusivity than OD, the microwave's efficiency is referred to its capacity to heat both evenly and volumetrically through dipolar contact. Because the microwave method ensured uniform heating throughout the interior subsurface, it reduced cell distress. As a result, the lipid production increased by 14.4%, and the biochemical components that can be used to produce valuable products and bioenergy in microalgal biorefineries were successfully preserved.

Agbede et al., 2020 have investigated the process of drying a thin layer of green microalgae (*Chlorella* sp.) paste biomass using a variety of drying methods, including microwave drying, open sun, solar, hot air. In contrast to hot air drying, the results showed that microwave drying had a higher moisture diffusivity and a lower specific energy consumption. Additionally, microwave drying had a lower activation energy than hot air drying. In comparison to conventional hot air-drying techniques, the authors propose that microwave drying may be a more effective and efficient way to dry microalgae biomass.

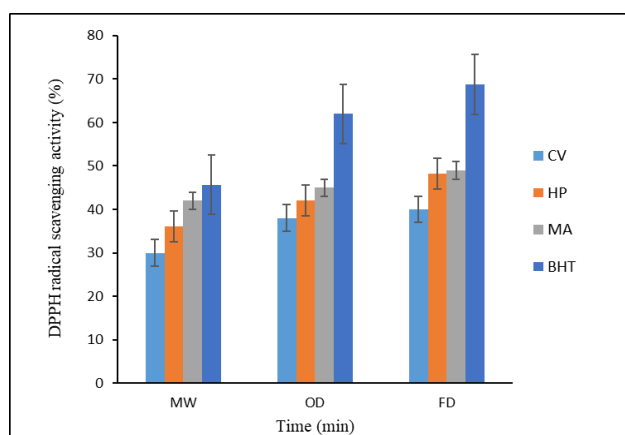


Figure 3. DPPH radical scavenging activity of *H. pluvialis*, *M. aeruginosa*, and *C. vulgaris* determined after different drying methods (MW:microwave-drying, OD:oven-drying, FD: freeze-drying) CV, HP and MA mean *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis* and *Microcystis aeruginosa*, respectively.

In Figure 3, DPPH radical scavenging activity of *H. pluvialis*, *M. aeruginosa*, and *C. vulgaris* determined after different drying methods were presented. It was seen that the highest antioxidant activity was determined from *M. aeruginosa*. Similar to biochemical composition exhibit a tendency whereby freeze-dry maintains the highest levels, oven-drying causes moderate losses, and microwave-drying causes considerable deterioration. This is probably because antioxidant chemicals are sensitive to heat and are easily oxidized and degraded in hot environments. The highest concentrations of phenolic compounds and antioxidants in microalgae and other algal types are reliably preserved during freeze-drying. Because high temperatures are not used in this process, sensitive bioactive chemicals are less likely to degrade (Shekarabi et al., 2019). Moderate amounts of phenolic chemicals and antioxidants are lost during oven-drying. These delicate chemicals are degraded by the heat used in this process, though not as severely as with microwave-drying (Le Lann et al., 2008).

CONCLUSION

Protein, lipid, and carbohydrate levels are all impacted by the drying process, which is essential for maintaining the microalgae's biochemical composition. Because of its low temperature, which reduces oxidation and thermal deterioration, freeze-drying is the best technique for preserving proteins and lipids. On the other hand, although more energy-efficient, oven-drying and microwave-drying cause substantial lipid oxidation and protein denaturation as a result of high temperature exposure. However, the percentage carbohydrate content may rise as a result of these thermal drying techniques, which might be advantageous for the manufacture of biofuel.

In the end, the planned use of the biomass should guide the drying technique chosen. Freeze-drying is better if maintaining the protein and lipid content is important, as it is for pharmaceuticals or nutraceuticals. On the other hand, heat drying techniques might be more appropriate for uses like the generation of biofuel where biomass rich in carbohydrates is preferred. Additional research aimed at improving drying conditions for distinct microalgal species will improve the use of biomass in a range of industrial applications.

Authors Contributions: The author prepared the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by the sole author.

Conflict of Interest Statement: The author declares no competing financial interest.

Funding: There is no funding.

Ethical Approval: There is no need for ethical approval.

Data Availability: The original contributions presented in the study are included in the article; further inquiries can be also directed to the corresponding author.

REFERENCES

- Agbede, O.O., Oke, E.O., Akinfenwa, S.I., Wahab, K.T., Ogundipe, S., Aworanti, O.A., Arinkoola, A.O., Agarry, S.E., Ogunleye, O.O., & Osulale, F.N. (2020). Thin layer drying of green microalgae (*Chlorella* sp.) paste biomass: Drying characteristics, energy requirement and mathematical modeling. *Bioresource Technology Reports*, **11**, 100467. DOI: [10.1016/j.biteb.2020.100467](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100467)
- Aljabri, H., Cherif, M., Siddiqui, S.A., Bounnit, T., & Saadaoui, I. (2023). Evidence of the drying technique's impact on the biomass quality of *Tetraselmis subcordiformis* (Chlorophyceae). *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, **16**(1), 85. DOI: [10.1186/s13068-023-02335-x](https://doi.org/10.1186/s13068-023-02335-x)
- Amin, M., Chetpattananondh, P., Cheng, C.K., Sami, S.K., & Khan, M.N. (2021). Drying characteristics and impacts on quality of marine *Chlorella* sp. biomass and extracts for fuel applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **9**(6), 106386. DOI: [10.1016/j.jece.2021.106386](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106386)
- Behera, B., & Balasubramanian, P. (2021). Experimental and modelling studies of convective and microwave drying kinetics for microalgae. *Bioresource Technology*, **340**, 125721. DOI: [10.1016/j.biortech.2021.125721](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125721)
- Bligh, E.G., & Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, **37**(8), 911-917. DOI: [10.1139/o59-099](https://doi.org/10.1139/o59-099)
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* **28**(1), 25-30. DOI: [10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chaijan, M., Panpipat, W., & Nisoa, M. (2017). Chemical deterioration and discoloration of semi-dried tilapia processed by sun drying and microwave drying. *Drying Technology*, **35**(5), 642-649. DOI: [10.1080/07373937.2016.1199565](https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1199565)
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rerbers, P., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, **28**(3), 350-356. DOI: [10.1021/ac60111a017](https://doi.org/10.1021/ac60111a017)
- Guldhe, A., Singh, B., Rawat, I., Ramluckan, K., & Bux, F. (2014). Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from microalgae for biodiesel production. *Fuel*, **128**, 46-52. DOI: [10.1016/j.fuel.2014.02.059](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.02.059)
- Hernández, A., González-Moya, M., Márquez, A., & Acevedo, L.E. (2024). Review Microalgae Drying: A Comprehensive Exploration from Conventional Air Drying to Microwave Drying Methods. *Future Foods*, **10**, 1-17. 100420. DOI: [10.1016/j.fufo.2024.100420](https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100420)
- Hosseinizand, H., Sokhansanj, S., & Lim, C. J. (2018). Studying the drying mechanism of microalgae *Chlorella vulgaris* and the optimum drying temperature to preserve quality characteristics. *Drying Technology*, **36**(9), 1049-1060. DOI: [10.1080/07373937.2017.1369986](https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1369986)
- Kröger, M., Klemm, M., & Nelles, M. (2019). Extraction behavior of different conditioned *S. rubescens*. *Energies*, **12**(7), 1336. DOI: [10.3390/en12071336](https://doi.org/10.3390/en12071336)
- Kyriakopoulou, K., Pappa, A., Krokida, M., Detsi, A., & Kefalas, P. (2013). Effects of drying and extraction methods on the quality and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries and leaves. *Drying Technology*, **31**(9), 1063-1076. DOI: [10.1080/07373937.2013.773907](https://doi.org/10.1080/07373937.2013.773907)
- Le Lann, K., Jégou, C., & Stiger-Pouvreau, V. (2008). Effect of different conditioning treatments on total phenolic content and antioxidant activities in two Sargassacean species: Comparison of the frondose *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt and the cylindrical *Bifurcaria bifurcata* R. Ross. *Phycological Research*, **56**(4), 238-245. DOI: [10.1111/j.14401835.2008.00505.x](https://doi.org/10.1111/j.14401835.2008.00505.x)
- Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L., & Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin. *Journal Biological Chemistry*, **10**(3), 361-362. DOI: [10.1016/0304-3894\(92\)87011-4](https://doi.org/10.1016/0304-3894(92)87011-4)
- Madhubalaji, C.K., Mudaliar, S.N., Chauhan, V.S., & Sarada, R. (2021). Evaluation of drying methods on nutritional constituents and antioxidant activities of *Chlorella vulgaris* cultivated in an outdoor open raceway pond. *Journal of Applied Phycology*, **33**, 1419-1434. DOI: [10.1007/s10811-020-02355-2](https://doi.org/10.1007/s10811-020-02355-2)
- Megawati, M., Damayanti, A., Putri, R. D. A., Pradnya, I. N., Yahya, H. F. & Arnan, N. K. (2020). Drying Characteristics of *Chlorella pyrenoidosa* Using Oven and its Evaluation for Bio-Ethanol Production. *Materials Science Forum*, **1007**, 1-5. DOI: [10.4028/www.scientific.net/MSF.1007.1](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1007.1)
- Ruiz-Domínguez, M.C., Marticorena, P., Sepúlveda, C., Salinas, F., Cerezal, P., & Riquelme, C. (2020). Effect of drying methods on lutein content and recovery by supercritical extraction from the microalga *Muriellopsis* sp. (MCH35) cultivated in the arid north of Chile. *Marine Drugs*, **18**(11), 528. DOI: [10.3390/md18110528](https://doi.org/10.3390/md18110528)
- Schmid, B., Navalho, S., Schulze, P.S.C., Van De Walle, S., Van Royen, G., Schüller, L.M., Maia, I.B., Bastos, C.R.V., Baune, M.-C., & Januschewski, E. (2022). Drying microalgae using an industrial

- solar dryer: a biomass quality assessment. *Foods*, **11**(13), 1873. DOI: [10.3390/foods11131873](https://doi.org/10.3390/foods11131873)
- Sert, B., İnan, B., & Özçimen, D. (2018). Effect of chemical pre-treatments on bioethanol production from *Chlorella minutissima*. *Acta Chimica Slovenica*, **65**(1), 160-165. DOI: [10.17344/acsi.2017.3728](https://doi.org/10.17344/acsi.2017.3728)
- Shekarabi, S.P.H., Mehrgan, M.S., Razi, N., & Sabzi, S. (2019). Biochemical composition and fatty acid profile of the marine microalga *Isochrysis galbana* dried with different methods. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, **9**(3), 521. DOI: [10.15414/jmbfs.2019/20.9.3.521-524](https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019/20.9.3.521-524)
- Stansell, G.R., Gray, V.M., & Sym, S.D. (2012). Microalgal fatty acid composition: implications for biodiesel quality. *Journal of Applied Phycology*, **24**, 791-801. DOI: [10.1007/s10811-011-9696-x](https://doi.org/10.1007/s10811-011-9696-x)
- Stramarkou, M., Papadaki, S., Kyriakopoulou, K., & Krokida, M. (2017). Effect of drying and extraction conditions on the recovery of bioactive compounds from *Chlorella vulgaris*. *Journal of Applied Phycology*, **29**, 2947-2960. DOI: [10.1007/s10811-017-1181-8](https://doi.org/10.1007/s10811-017-1181-8)
- Sun, X., Huang, H., Zhao, D., Lin, J., Gao, P., & Yao, L. (2020). Adsorption of Pb²⁺ onto freeze-dried microalgae and environmental risk assessment. *Journal of Environmental Management*, **265**, 110472. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110472](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110472)
- Van De Walle, S., Gifuni, I., Coleman, B., Baune, M.-C., Rodrigues, A., Cardoso, H., Fanari, F., Muylaert, K., & Van Royen, G. (2024). Innovative vs classical methods for drying heterotrophic *Chlorella vulgaris*: Impact on protein quality and sensory properties. *Food Research International*, **182**, 114142. DOI: [10.1016/j.foodres.2024.114142](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114142)
- Zhang, J.-J., Cao, L.-K., Yi, S.-J., Che, G., Wang, W.-H., Liu, W., Jia, X.-Y., Wei, C.-H., Wang, Y.-F., & Wu, Y.-J. (2022). Proteomic analysis of *japonica sorghum* following microwave intermittent drying based on label-free technology. *Food Science and Technology*, **42**, e96621. DOI: [10.1590/fst.96621](https://doi.org/10.1590/fst.96621)



Correlation Between Visual Assessment and CR 10-14 Color Measurement Devices in Turkish Salmon Fillets

Ayşe KARA¹ Emre ÇAĞLAK¹ Barış KARSLI¹ Özen Yusuf ÖĞRETMEN^{1*} Neslihan ÖĞRETMEN¹

¹Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Fisheries, Department of Seafood Processing Technology, Rize, Türkiye

Received: 30.06.2025

Accepted: 16.07.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Kara, A., Çağlak, E., Karsli, B., Öğretmen, Ö.Y., Öğretmen, N. (2025). Correlation Between Visual Assessment and CR 10-14 Color Measurement Devices in Turkish Salmon Fillets. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 464-470. <https://doi.org/10.35229/jaes.1730463>

Atıf yapmak için: Kara, A., Çağlak, E., Karsli, B., Öğretmen, Ö.Y., Öğretmen, N. (2025). Türk Somon Filetolarında Görsel Değerlendirme ile CR 10-14 Renk Ölçüm Cihazları Arasındaki Korelasyon. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 464-470. <https://doi.org/10.35229/jaes.1730463>

*<https://orcid.org/0000-0002-1767-2693>
<https://orcid.org/0000-0002-8448-2144>
<https://orcid.org/0000-0002-7376-1359>
<https://orcid.org/0000-0002-3944-6988>
<https://orcid.org/0000-0002-1767-2693>
<https://orcid.org/0009-0003-3709-2447>

*Corresponding author's:

Özen Yusuf ÖĞRETMEN

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Fisheries, Department of Seafood Processing Technology, 53100 Rize, Türkiye

✉: ozenyusuf.ogretmen@erdogan.edu.tr

Abstract: To reduce human errors in color assessments that may cause commercial issues, businesses use color scales and measurement devices. In this study, color measurements performed with the SalmoFan™ color scale and Konica Minolta CR-10 and CR-14 chromameters are comparatively evaluated. The results showed that, except for color scale number 22, there were strong positive or negative correlations between Ea, Eb, and EC values and the color scale readings. Additionally, the study revealed that the non-homogeneous color structure of salmon fillets presents a significant obstacle in accurately relating to the data obtained.

Keywords: Color, visual, Turkish salmon, quality.

Türk Somon Filetolarında Görsel Değerlendirme ile CR 10-14 Renk Ölçüm Cihazları Arasındaki Korelasyon

Öz: İşletmeler, ticari sorunlara yol açabilecek renk değerlendirmelerindeki insan kaynaklı hataları azaltmak amacıyla renk skalaları ve ölçüm cihazları kullanmaktadır. Bu çalışmada, SalmoFan™ renk skalası ile Konica Minolta CR-10 ve CR-14 Kromametre cihazları kullanılarak yapılan renk ölçümleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, 22 numaralı renk skalası hariç tüm renk skalalarında Ea, Eb ve EC değerleri ile renk skalası değerleri arasında güçlü pozitif veya negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, somon filetosunun homojen olmayan renk yapısının elde edilen verilerin doğru şekilde ilişkilendirilmesinde önemli bir engel oluşturduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler. Renk, görsel, Türk somonu, kalite.

*Sorumlu yazar:

Özen Yusuf ÖĞRETMEN

R.T.E. Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri İşleme Teknolojisi Bölümü, 53100 Rize, Türkiye

✉: ozenyusuf.ogretmen@erdogan.edu.tr

INTRODUCTION

Sensory analysis is one of the most common methods used as the primary indicator in determining the quality of foods. In the sensory evaluation of a food, four main tests are applied: sight, smell, touch, and taste. Vision is the leading factor in the initial perception of the product during this evaluation. In visual analysis, decisions can be made regarding the quality and characteristics of products in terms of their color. In sensory evaluations of foods, some

studies utilize human visual perception to determine the color parameter. However, since various factors of the human factor (such as age, gender, experience, eye health, etc.) may vary, a clear result cannot be obtained in this evaluation. For example, the human eye perceives the color based on the wavelength of light reflected from objects, approximately 400-450 nm for blue, 500-550 nm for green, and 650-750 nm for red (Üren, 1999; Keskin et al., 2017).

In the food industry and in seafood products, the color parameter is important in various areas. In these areas,

to eliminate human error, several color measurement systems (Munsell, Hunter, CIE, etc.) have been developed instead of visual color scales. Color measurement systems are devices/systems that present the color of an object in numerical data, as determined by the device (CR 10, CR 14, CR 200, CR 300, Tindometer, Colorimeter, etc.), based on transmission or reflection properties. The CIE color system, introduced in 1931 and continuously developed, is the first three-dimensional color measurement system. The CIE system is widely used today in various industries to calculate/obtain different values (Y_{xy} , Lab^* , etc.) in the color field (Üren, 1999). In seafood, appearance is an important parameter in terms of both acceptability and consumer preference. The first factor influencing whether a product is accepted or rejected by consumers is its color and other visual characteristics. In fish, especially in fillet form, color is affected by the muscle structure characteristics and pigment concentrations (Cai et al., 2014; Şengör et al., 2019). In Turkish salmon fillets, carotenoid (astaxanthin and canthaxanthin) pigments in the diet highlight the importance of color in meat quality (Choubert and Baccaunaud, 2006). In salmon, the color parameter is one of the most important factors for freshness criteria and high market values. Various studies have been conducted on the effect of color on the meat quality of salmon and other fish (Skrede et al., 1990; Choubert, 1997; Choubert and Baccaunaud, 2006; Yagiz et al., 2009; Wu et al., 2012; Oliveria and Balaban, 2006; Şengör et al., 2019). In addition to these studies, research into the development of standards through human and computer-based new technologies is also increasing. The Turkish salmon processing industry has gained a significant place in global exports. The standard of fillet-like products to be marketed plays a key role in maintaining this position and ensuring consistent quality. In export products, color scales are especially used to determine the standard. In this context, it is important to establish a correlation between the color scales and color measurement devices used intensively in the industry to avoid human error. For this purpose, the present study aims to analyze the findings obtained from color scale and CIE color system data and identify specific parameter values based on the statistical relationship between them.

MATERIALS AND METHODS

Fish Sample and Preparation: A total of 30 fish with an average length of $51,70 \pm 1,96$ cm and an average weight of $2,40 \pm 0,30$ kg were used in the study. After the harvesting process, the fish were processed within 2 hours under cold storage conditions ($+4^{\circ}\text{C}$) in a hygienic laboratory environment. All the fish were subjected to a simple washing process under running cold water, and after a 5-minute draining procedure, filleting was performed. The

filleting process was carried out as E-Trim, as shown in Figure 1.

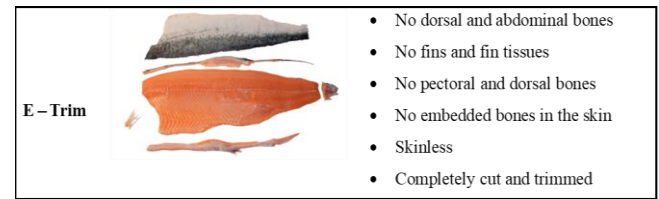


Figure 1. Turkish salmon (*Oncorhynchus Mykiss*) fillet (E-Trim).

Color Measurement: In this study, color measurements were carried out by a team of five experts with the necessary knowledge and experience in seafood processing and evaluation. Konica Minolta-Japan (CR 10 and CR14 Chroma Meter) color measurement devices and the SalmoFanTM color scale were used for the color analysis of the samples. The L , a , b^* , Y^* , x^* , and y^* values used in the color analysis were determined according to the CIE color chart. According to this chart, L^* represents lightness (0=white and 100=black), a^* represents greenness (-)/redness (+), b^* represents blueness (-)/yellowness (+), Y^* represents brightness on a scale of 0-100, x^* represents redness, and y^* represents greenness. The SalmoFanTM color scale parameters range from reference values 20 to 34 from light to dark. The relevant color evaluation parameters are shown in Figure 2.

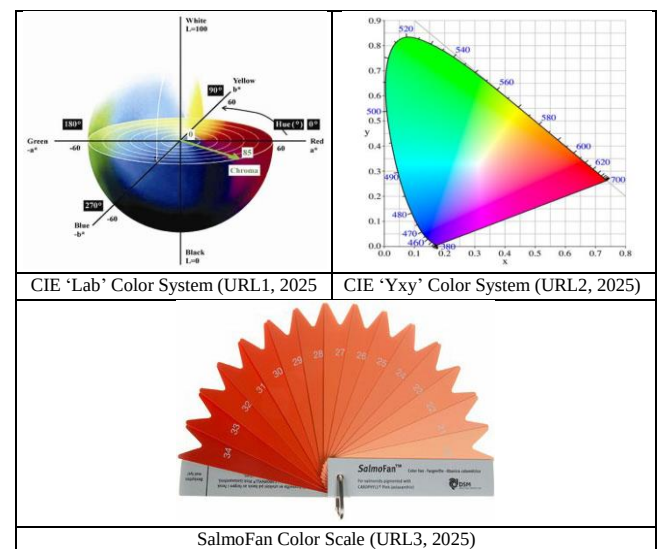


Figure 2. Color systems used in color measurement.

Measurements with the color measurement devices were performed 10 times around the lateral line of the fillet. The color scale measurement was carried out by 5 different evaluators, and the average value was concluded based on the nearest color scale score. Hue and Chroma values were calculated according to McGuire (1992) (Formula 1).

$$h^{\circ} = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad \text{Chroma value} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (1)$$

Delta E, WI, and YI values were calculated according to Ortiz-Duarte et al. (2019) and Kaya et al. (2021) (Formula 2).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$YI = 142.86 \frac{b}{L}$$

Statistical Analysis: All analyses were performed in triplicate and the results were expressed as mean values with standard deviations. A one-way ANOVA (analysis of variance) method followed by the smallest significant difference (LSD) test was used to determine the differences among the treatments at $p < .05$ using JMP software (SAS Institute, Inc.; Sokal & Rohlf, 1987). Statistical analysis was performed using SPSS version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The data were expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD), and significant differences were calculated using one-way analysis of variance (ANOVA). To determine the correlation between the mean values, Pearson correlation test was conducted within OriginPro (2024), and the results were presented in the form of a correlogram.

RESULTS AND DISCUSSION

The data obtained from the measurements with the CR 10 and CR14 Chroma Meter color measurement devices for the SalmoFan™ color scale values are presented in Table 1. The measurements showed that the values of L, Y, y*, WI,

and Hue angle decreased as the color scale scores increased. In contrast, the values of a*, x*, Delta E, YI, and Chroma generally increased in parallel with the increase in color scale scores. It was found that the b* values, which showed fluctuating changes according to the color scale scores, were distributed between a minimum of 34.36 and a maximum of 40.8. During the color analysis of the salmon fillets obtained for the study, color tones corresponding to scale numbers 33 and 34 on the SalmoFan™ color scale were not observed. As a result, data on the color values of those with scale scores of 33 and 34 could not be obtained and the measurements corresponding to these scale numbers could not be given in the study.

In the study, the device measurements (CR10 and CR14 Chroma Meter Minolta-Japan) corresponding to the visual color evaluation results of the fillet are shown in Table 2. Since the values 33 and 34 on the color scale were not observed in the measurements on the fillet, device measurements were not made. Changes were observed in the L, a, b, Y, x, y, hue, delta E, WI, YI, and Chroma values corresponding to the color scale parameters on the fish fillet. Specifically, as the Hue angle values decreased from the 20 scale value towards the 32 scale value, an increase in YI values was observed. In the evaluation of L, a, b*, Y*, chroma, Delta E, and WI values, no significant change was observed in comparison to the increase in scale scores. Notably, x* and y* values showed no change according to the scale score variations.

Table 1. Values corresponding to the SalmoFan™ score for the Konica Minolta CR 10 and CR14 color measurement devices.

SalmoFan score	"L"	"a"	"b"	"Y"	"x"	"y"	Hue angle	Chroma value	Delta E	WI	YI
20	62.88±0.59 ^a	27.68±0.57 ^a	36.32±0.15 ^a	70.90±0.98 ^a	0.42±0.01 ^a	0.37±0.01 ^a	52.68±0.48 ^a	45.67±0.45 ^a	38.26±0.45 ^a	41.15±0.42 ^a	82.52±0.82 ^a
21	60.82±0.31 ^b	33.52±0.41 ^a	36.44±0.05 ^a	65.22±0.13 ^b	0.43±0.01 ^b	0.36±0.01 ^b	47.39±0.36 ^b	49.51±0.27 ^b	42.97±0.28 ^b	36.86±0.25 ^b	85.6±0.5 ^a
22	58.30±0.07 ^c	35.96±0.09 ^a	37.66±0.05 ^a	58.16±0.11 ^c	0.44±0.01 ^c	0.36±0.01 ^c	46.32±0.06 ^b	52.07±0.09 ^c	46.22±0.1 ^b	33.29±0.09 ^c	92.78±0.22 ^b
23	56.06±0.05 ^d	38.22±0.15 ^b	36.70±0.12 ^a	53.10±0.07 ^d	0.44±0.01 ^b	0.36±0.01 ^{bcd}	43.84±0.03 ^c	52.99±0.19 ^c	48.05±0.18 ^b	31.16±0.15 ^d	93.52±0.33 ^b
24	54.38±0.08 ^e	40.26±0.18 ^b	36.70±0.14 ^a	49.26±0.11 ^e	0.46±0.01 ^{bcd}	0.36±0.01 ^{bcd}	42.35±0.21 ^{cd}	54.48±0.11 ^c	50.18±0.12 ^f	28.94±0.11 ^f	96.41±0.34 ^b
25	53.38±0.11 ^f	42.7±0.12 ^b	38.18±0.19 ^{cd}	46.52±0.04 ^f	0.47±0.01 ^{bcd}	0.36±0.01 ^{bcd}	41.80±0.21 ^d	57.28±0.09 ^c	53.19±0.09 ^c	26.15±0.11 ^f	102.18±0.49 ^b
26	51.68±0.11 ^f	43.76±0.13 ^b	38.62±0.08 ^{bde}	43.28±0.18 ^f	0.48±0.01 ^{efg}	0.35±0.01 ^{bcd}	41.43±0.10 ^d	58.36±0.12 ^b	54.85±0.09 ^c	24.23±0.06 ^g	106.76±0.12 ^f
27	50.68±0.08 ^f	45.1±0.07 ^f	39.58±0.11 ^{bcd}	40.86±0.05 ^f	0.48±0.01 ^{def}	0.36±0.01 ^{bcd}	41.27±0.06 ^d	60.00±0.11 ^{cd}	56.76±0.08 ^d	22.33±0.06 ^h	111.57±0.21 ^f
28	47.84±0.42 ^g	46.14±0.45 ^b	40.06±0.43 ^b	35.46±1.16 ^g	0.49±0.01 ^{de}	0.35±0.01 ^b	40.97±0.29 ^d	61.10±0.54 ^b	58.92±0.34 ^c	19.66±0.21 ⁱ	119.63±0.57 ^f
29	47.1±0.25 ^{gh}	49.3±0.26 ^b	40.22±0.13 ^b	33.96±0.50 ^h	0.51±0.01 ^{cd}	0.35±0.01 ^{ef}	39.21±0.11 ^e	63.62±0.27 ^b	61.69±0.21 ^b	17.26±0.17 ^j	121.99±0.6 ^g
30	45.86±0.05 ^h	52.66±0.15 ^c	40.80±0.22 ^c	31.48±0.56 ^h	0.52±0.01 ^{de}	0.34±0.01 ^g	37.77±0.11 ^f	66.62±0.24 ^c	65.07±0.21 ^c	14.16±0.19 ^k	127.1±0.68 ^g
31	43.02±0.36 ⁱ	52.58±0.49 ^c	39.62±0.32 ^{bc}	27.72±0.58 ^h	0.53±0.01 ^{de}	0.34±0.01 ^g	37.00±0.27 ^g	65.84±0.49 ^b	65.66±0.3 ^c	12.93±0.15 ^k	131.57±0.92 ^b
32	42.12±0.54 ⁱ	52.84±1.09 ^c	37.74±0.91 ^{def}	26.80±0.52 ^h	0.54±0.01 ^a	0.34±0.01 ^g	35.54±0.43 ^h	64.93±1.33 ^{ab}	65.44±1.09 ^c	13.01±0.92 ^k	128.02±3.52 ^c
33	38.48±1.69 ^j	51.2±2.8 ^b	38.14±2.29 ^{def}	24.28±0.02 ^h	0.53±0.01 ^{abc}	0.33±0.01 ^h	36.68±1.78 ^h	63.84±3.04 ^b	66.19±1.98 ^c	11.28±1.48 ^k	141.77±9.9 ^c
34	37.38±0.83 ^j	47.92±2.4 ^{cd}	34.36±1.97 ^h	22.00±0.01 ⁱ	0.51±0.01 ^{bc}	0.33±0.01 ^h	35.64±2.03 ^h	58.97±2.33 ^{ab}	62.76±1.59 ^b	13.94±1.1 ^l	131.25±5.35 ^b

Table 2. Trout fillet color scale scores and Konica Minolta CR 10 and CR14 color measurement device values.

SalmoFan score	"L"	"a"	"b"	"Y"	"x"	"y"	Hue angle	Chroma value	Delta E	WI	YI
20	43±1.92 ^{ab}	13.4±0.18 ^d	17.32±0.24 ^b	13.32±0.90 ^{ab}	0.40±0.00 ^c	0.36±0.00 ^{abc}	52.25±1.04 ^a	2.19±0.29 ^c	30.13±1.89 ^{ef}	42.96±1.91 ^{abc}	57.50±0.67 ^d
21	43.98±1.44 ^a	19.26±0.14 ^{abc}	21.78±0.14 ^a	13.68±1.20 ^{ab}	0.43±0.41 ^{bcd}	0.36±0.35 ^a	48.53±0.47 ^b	2.91±0.20 ^{ab}	29.06±1.41 ^f	43.90±1.44 ^a	70.81±0.44 ^{cd}
22	41.92±1.55 ^{abcd}	17.28±0.24 ^{abc}	19.60±0.26 ^{ab}	12.38±0.90 ^{bc}	0.41±0.01 ^{cde}	0.35±0.00 ^{abc}	48.61±2.22 ^b	2.61±0.34 ^{bc}	31.11±1.44 ^{def}	41.86±1.56 ^{bcd}	67.10±1.09 ^{cd}
23	43.52±1.39 ^a	21.0±0.12 ^{abc}	21.54±0.14 ^a	14.90±1.39 ^a	0.43±0.01 ^{bcd}	0.35±0.01 ^c	45.72±0.78 ^{bc}	3.01±0.18 ^{ab}	29.51±1.38 ^f	43.44±1.38 ^a	70.73±0.22 ^{cd}
24	38.71±1.35 ^e	22.76±0.18 ^a	21.86±0.19 ^a	9.82±0.65 ^{de}	0.45±0.01 ^a	0.36±0.00 ^{ab}	43.84±2.72 ^c	3.16±0.22 ^a	34.19±1.32 ^b	38.62±1.34 ^e	80.74±0.73 ^{bc}
25	39.88±0.65 ^{de}	17.74±0.11 ^{bc}	18.74±0.19 ^{ab}	11.20±1.43 ^{cd}	0.43±0.01 ^{bcd}	0.36±0.00 ^{abc}	46.50±1.55 ^{bc}	2.58±0.21 ^{bc}	33.11±0.59 ^{cd}	39.82±0.66 ^{de}	67.21±0.79 ^{bc}
26	40.18±0.88 ^{bde}	21.62±0.16 ^{ab}	21.76±0.20 ^a	9.32±0.38 ^{def}	0.41±0.01 ^{de}	0.35±0.00 ^{bc}	45.15±0.87 ^c	3.07±0.25 ^{ab}	32.75±0.87 ^{de}	40.10±0.88 ^{de}	77.44±0.70 ^{bc}
27	40.04±0.69 ^{bcd}	19.92±0.11 ^{abc}	20.88±0.15 ^{ab}	7.66±0.21 ^f	0.44±0.01 ^{abc}	0.36±0.00 ^{abc}	46.41±0.93 ^{bc}	2.88±0.18 ^{bc}	32.91±0.71 ^{de}	39.97±0.69 ^{de}	74.42±0.44 ^{cd}
28	38.88±1.44 ^{de}	20.64±0.17 ^{abc}	21.38±0.16 ^{ab}	9.74±0.45 ^{de}	0.44±0.01 ^{abc}	0.36±0.00 ^{abc}	46.02±1.11 ^{bc}	2.97±0.23 ^{ab}	34.03±1.44 ^b	38.81±1.43 ^e	78.50±0.32 ^{cd}
29	41.02±1.08 ^{abcd}	22.24±0.11 ^a	22.86±0.12 ^a	9.66±1.13 ^{de}	0.44±0.03 ^{ab}	0.36±0.00 ^{abc}	45.78±0.53 ^{bc}	3.19±0.16 ^a	31.91±1.04 ^{bcd}	40.93±1.09 ^{de}	79.73±0.55 ^{bc}
30	35.48±1.95 ^f	21.94±1.46 ^a	22.02±1.36 ^a	8.56±0.86 ^{ef}	0.44±0.01 ^{ab}	0.35±0.00 ^{abc}	45.11±0.37 ^c	31.08±1.99 ^{ab}	43.60±0.84 ^a	28.35±1.06 ^f	88.61±2.39 ^a
31	38.94±1.31 ^{de}	23.14±0.29 ^a	22.74±0.30 ^a	8.94±0.78 ^{ef}	0.45±0.01 ^a	0.36±0.00 ^{abc}	44.48±0.90 ^c	3.24±0.42 ^a	33.94±1.33 ^{bc}	38.85±1.29 ^e	83.32±0.89 ^{ab}
32	42.2±1.93 ^{abc}	23.06±0.23 ^a	22.84±0.09 ^a	12.04±0.34 ^{bc}	0.43±0.01 ^{abcd}	0.35±0.00 ^{abc}	44.82±2.38 ^c	3.25±0.20 ^a	30.76±1.89 ^{cd}	42.11±1.93 ^{bcd}	77.40±3.8 ^{bc}
33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
34	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* No measurements were taken because the values on the color scale were not observed.

* Renk skalasındaki değerler gözlenmediği için ölçüm yapılmadı.

In the study, the data obtained from the device measurements (CR10 and CR14 Chroma Meter Minolta-Japan) corresponding to the visual evaluation results of the trout fillet color scale values were analyzed. It was

observed that no similar values/relationships were found when examining the relationships between the color scale and meat color values for a, b, Y*, and Chroma. On the other hand, although similar data relationships were

observed for x^* and y^* values, it was determined that the x^* and y^* results did not present a distinctive difference in color measurement. Upon examining the L^* values, it was found that only similar results occurred at color scale

scores 31 and 32. When examining the Hue angle results, a similar relationship was found between all the color scale values and meat color values.

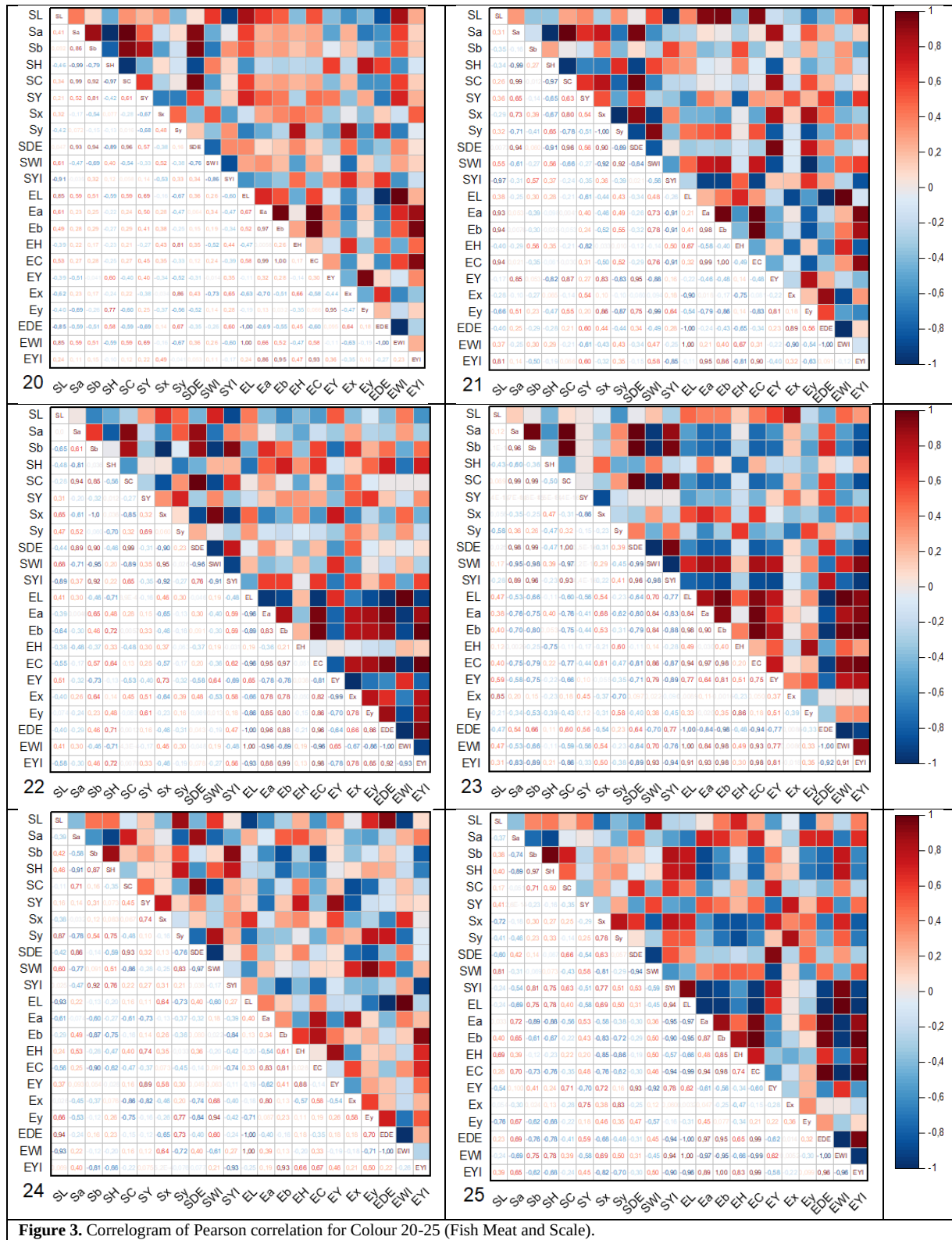


Figure 3. Correlation matrix of Pearson correlation for Colour 20-25 (Fish Meat and Scale).

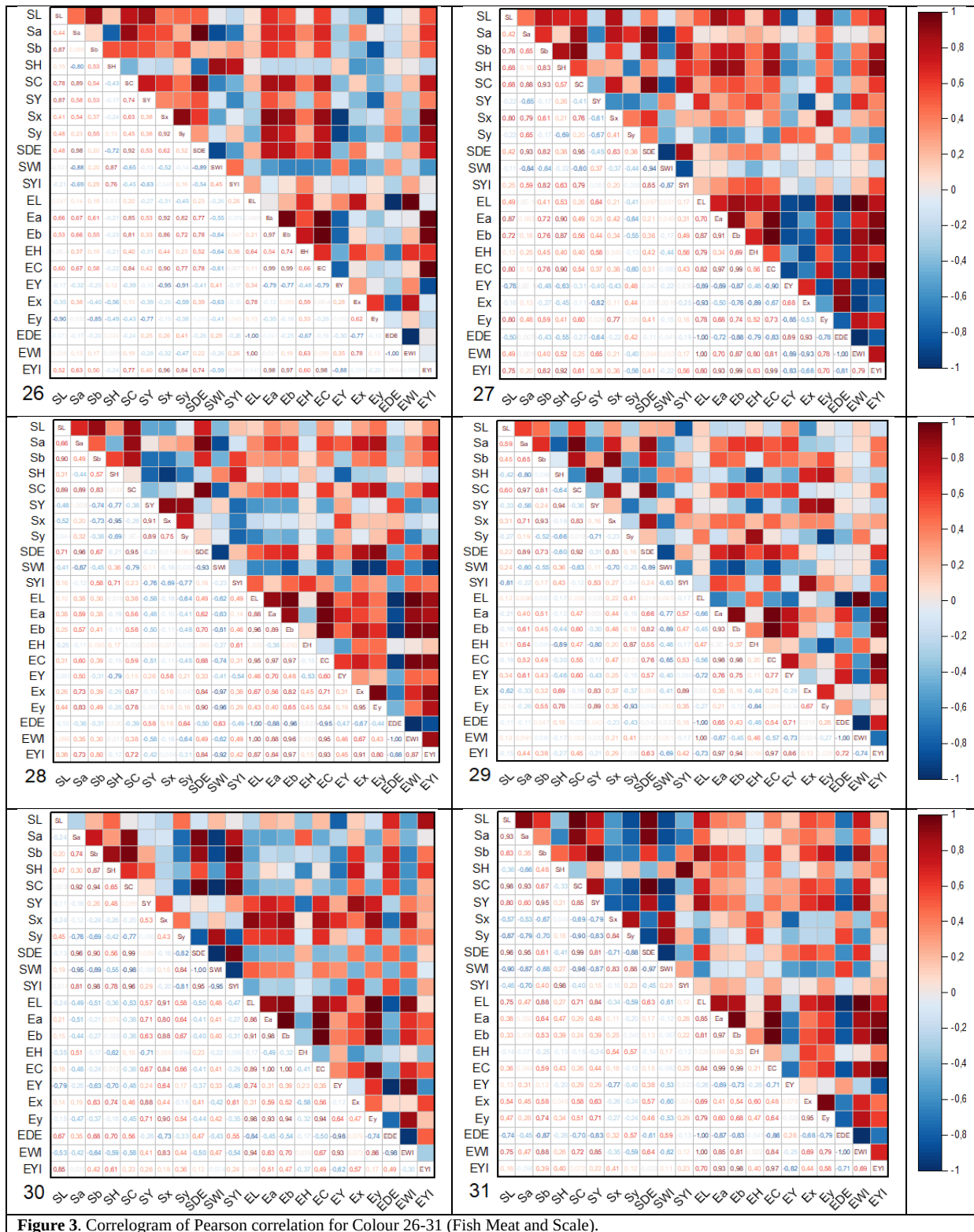


Figure 3. Corrologram of Pearson correlation for Colour 26-31 (Fish Meat and Scale).

The correlation relationships of each color scale value based on the visual identification of the fish meat and device measurements are shown in Figure 3. The Pearson correlation coefficient provides data on the positive/negative relationship and strength between two variables. In this coefficient, which ranges from +1 to -1, the relationship weakens as the value approaches zero and

strengthens as it nears 1 (0.00-0.19 no correlation, 0.20-0.39 weak correlation, 0.40-0.69 moderate correlation, 0.70-0.89 strong correlation, and 0.90-1.00 very strong correlation) (Öztuna et al., 2008; Choi et al., 2010; Sheskin, 2011). In the evaluation based on Figure 3, both strong and very strong correlations were considered for negative and positive values. In the correlation performed, strong

relationships were observed for scale L values (SL) with meat L (EL) and meat WI (EWI) (+) and meat DE (EDE) (-) for color scale 20. For color scale 21, SL and scale WI (SWI) values showed a strong relationship for meat a (Ea), meat b (Eb), and meat chroma value (EC) (+), while scale YI (SYI) values showed a very strong relationship for the same variables (-). For color scale 22, scale H (SH) values provided strong correlations for Eb, EDE, and meat YI (EYI) values (+), while EWI showed a negative strong correlation (-). For color scale 23, Ea values showed strong correlations with scale a (Sa), scale b (Sb), scale chroma (SC), scale DE (SDE), and SYI values (-), and with SWI (+). In color scale 24, Eb showed a strong negative correlation with SYI, SH, and Sb, while EC and EYI values showed strong and very strong negative correlations with SYI and Sb. In color scale 25, Ea and EC values showed a positive strong correlation with Sa, while Sb and SH values showed a negative strong correlation. SYI values showed a very strong positive correlation with EL and EWI, and a very strong negative correlation with EYI, meat delta E (EDE), EC, Eb, and Ea values. In color scale 26, it was observed that SDE and SC values had a strong positive correlation with Ea, Eb, EC, and EYI values. In color scale 27, SL and Sb values showed a strong positive correlation with Ea, Eb, EC, and EYI, while SH showed a very strong positive correlation with Ea, EC, and EYI. In color scale 28, SWI values showed a strong negative correlation with Eb and EC, a very strong negative correlation with EYI, and a strong positive correlation with SDE, SC, and Sa. In color scale 29, SWI values showed a strong negative correlation with Ea and EC, and a strong positive correlation with Eb. The SDE value had a strong positive correlation with Eb and EC, and the meat Hue angle value (EH) had a strong negative correlation with scale Y (SY) and scale Hue angle value (SH). In color scale 30, a strong positive correlation was observed between SY and Ea, while a strong negative correlation was found between EH and SY. Additionally, a strong positive correlation was observed between SH and EDE, and a strong negative correlation with meat Y (EY). In color scale 31, EL and EWI values showed a positive strong correlation with SL, Sb, SC, and SY values, while EDE showed a negative strong correlation with the same values. In color scale 32, Sa values showed a strong relationship with Ea, Eb, and EYI, and a very strong negative relationship with EC. EC values showed a strong correlation with Ea, EC, and EYI, and a very strong negative relationship with Eb. SWI and SDE values showed a strong correlation with EC and a very strong negative correlation with Eb. In the general evaluation, it was found that, except for color scale 22, Ea, Eb, and EC values showed strong positive/negative correlation values with color scale values in all the color scales.

CONCLUSIONS

In the measurements performed with color devices for the SalmoFan™ color scale values between 20 and 34, a notable change was observed in the L, Y, y*, WI, and Hue values showing a decrease, while a noticeable increase was observed in a*, x*, Chroma, Delta E, and YI values (excluding scale values 33 and 34). In the color measurements of Turkish salmon fillet, although the changes were not as distinct as those in the color scale, similar trends were observed, with particularly the Hue values decreasing in response to increasing scale scores. To establish the relationship between the color measurements of Turkish salmon fillet and the color scale measurements, Pearson Correlation changes were performed. In the results obtained, except for color scale 22, a strong positive/negative correlation between the Ea, Eb, and EC values and the color scale values were detected in all color scales. The more distinct results in the measurements of the color scale devices compared to the Turkish salmon fillet can be explained by the lack of a homogeneous color content in the fillet, which results from the varying fat, water, and protein structures in the meat. To establish a complete relationship in these studies, higher-level imaging devices and more samples could help reduce error margins.

Credit authorship contribution statement:

AK: Conceptualization, Writing -review and editing;
EÇ: Formal Analysis, Investigation, Methodology;
BK: Resources, Writing -review and editing;
ÖYÖ: Supervision, Writing review and editing and
NÖ: Investigation, Methodology.

REFERENCES

- Alçiçek, Z., & Balaban, M.Ö. 2012. Development and application of “The Two Image” method for accurate object recognition and color analysis. *Journal of Food Engineering*, **111**, 46-51. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2012.01.031](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.031)
- Cai, L., Wu, X., Li, X., Zhong, K., Li, Y., & Li, J. (2014). Effects of different freezing treatments on physicochemical responses and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets during refrigerated storage. *LWT—Food Science and Technology*, **59**, 122-129. DOI: [10.1016/j.lwt.2014.04.062](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.062)
- Choubert, G., Blanc, J.-M., & Valde, F. (1997). Colour measurement, using the CIELCH colour space, of muscle of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed astaxanthin: effects of family, ploidy, sex, and location of reading. *Aquaculture Research*, **28**, 15-22.
- Choubert, G., & Baccaunaud, M. (2006). Colour changes of fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fed astaxanthin or canthaxanthin

- during storage under controlled or modified atmosphere. *LWT*, **39**, 1203-1213.
- Choi, J., Peters, M., & Mueller, R.O. (2010).** Correlation analysis of ordinal data: from Pearson's r to Bayesian polycoric correlation. *Asia Pacific Educ. Rev.*, **11**, 459-466.
- Cheng, J-H., Sun, D-W., Zeng, X-A., & Liu, D. (2015).** Recent advances in methods and techniques for freshness quality determination and evaluation of fish and fish fillets: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **55**(7), 1012-1225. DOI: [10.1080/10408398.2013.769934](https://doi.org/10.1080/10408398.2013.769934)
- Gümüş, B., Balaban, M.Ö., & Ünlüsayın, M. (2011).** Machine vision applications to aquatic foods: A review. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **11**, 171-181. DOI: [10.4194/trjfas.2011.0124](https://doi.org/10.4194/trjfas.2011.0124)
- Hassoun, A., & Karoui, R. (2017).** Quality evaluation of fish and other seafood by traditional and nondestructive instrumental methods: Advantages and limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57**(9), 1976-1998. DOI: [10.1080/10408398.2015.1047926](https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1047926)
- Keskin, M., Setlek, P., & Demir, S. (2017).** Use of Color Measurement Systems in Food Science and Agriculture. International Advanced Research & Engineering Congress Proceeding Book, 16-18 November, Osmaniye/Türkiye, 2350-2359 p.
- Leon, A.P., Vina, S.Z., Frezza, D., Chaves, A., & Chiesa, A. (2007).** Estimation of Chlorophyll Contents by Correlations between SPAD-502 Meter and Chroma Meter in Butterhead Lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **38**, 2877-2885. DOI: [10.1080/0010362070163115](https://doi.org/10.1080/0010362070163115)
- McGuire, R.G. (1992).** Reporting of objective colour measurement. *Hortscience*, **27**, 1254-1255.
- Origin Scientific Analysis and Graphing Software OriginLab Corporation. (2024).** OriginPro.
- Oliveira, A.C.M., & Balaban, M.O. (2006).** Comparison Of A Colorimeter With A Machine Vision System In Measuring Color Of Gulf Of Mexico Sturgeon Fillets. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, **22**(4), 583-587.
- Öztuna, D., Elhan, A.H., & Kurşun, N. (2008).** Sağlık Araştırmalarında Kullanılan İlişki Katsayıları. *Türkiye Klinikleri*, **28**, 160-165.
- URL1. (2025).** <https://sensing.konicaminolta.asia/id/what-is-cie-1976-lab-color-space/>
- URL2. (2025).** <https://wolfcrow.com/what-is-the-difference-between-cie-lab-cie-rgb-cie-xyy-and-cie-xyz/>
- URL3, (2025).** <https://www.dsm-firmenich.com/anh/products-and-services/tools/salmofan.html>
- Üren, A. (1999).** Üç Boyutlu Renk Ölçme Yöntemleri. *Gıda*, **24**(3), 1993-200.
- Sheskin D. (2011).** Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures Test, Chapman and Hall/CRC, Fifth Edition, S. 800.
- Sokal, R.R., & Rohlf, F.J. (1987).** Introduction to biostatistics (2nd ed.). Freeman.
- Skrede, G., Rısvik, E., Huber, M., Enersen, G., & Blümlein, L. (1990).** Developing a Color Card for Raw Flesh of Astaxanthin-fed Salmon. *Journal of Food Science*, **55**(2), 361-363.
- Şengör, Ü.F.G., Balaban, O.M., Topaloğlu, B., Ayvaz, Z., Ceylan, Z., & Doğruyol, H. (2019).** Color assessment by different techniques of gilthead seabream (*Sparus aurata*) during cold storage). *Food Sci. Technol.*, **39**(3), 696-703. DOI: [10.1590/fst.02018](https://doi.org/10.1590/fst.02018)
- Wu, D., Sun, D-W., & He, Y. (2012).** Application of long-wave near infrared hyperspectral imaging for measurement of color distribution in salmon fillet. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **16**, 361-372. DOI: [10.1016/j.ifset.2012.08.003](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.08.003)
- Yagiz, Y., Balaban, M.O., Kristinsson, H.G., Welt, B.A., & Marshall, M.R. (2008).** Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. *Journal of Science of Food and Agriculture*, **89**(4): 728-730. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3467>



Analysis of Gut Microbiota and Assessment of Environmental Health in Western Anatolian Vole (*Microtus lydius* Blackler, 1916)

Tuba YAĞCI GURBANOV^{1*} Gözde AYSEÇKİN¹

¹Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of Sciences, Department of Molecular Biology and Genetics, Bilecik, Türkiye

Received: 19.03.2025

Accepted: 07.07.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Yağci Gurbanov, T., & Ayseçkin, G. (2025). Analysis of Gut Microbiota and Assessment of Environmental Health in Western Anatolian Vole (*Microtus lydius* Blackler, 1916). *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 471-477. <https://doi.org/10.35229/jaes.1661557>

Atıf yapmak için: Yağci Gurbanov, T., & Ayseçkin, G. (2025). Batı Anadolu Tarla Faresi (*Microtus lydius* Blackler, 1916)'nde Bağırsak Mikrobiyotası Analizi ve Çevresel Sağlık Değerlendirmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 471-477. <https://doi.org/10.35229/jaes.1661557>

*<https://orcid.org/0000-0003-1705-5107>
<https://orcid.org/0009-0009-2424-8661>

*Corresponding author's:
Tuba YAĞCI GURBANOV
Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of
Sciences, Department of Molecular Biology
and Genetics, Bilecik, Türkiye
✉: tuba.yagci@bilecik.edu.tr

Abstract: The significant risk posed by zoonotic pathogens to humans increases the need to better understand how these pathogens are maintained and transmitted within ecosystems. *Microtus* (voles), one of the important members of wildlife, are widely distributed in agricultural fields and can directly interact with humans through farmers or agricultural products. Microbiological studies on this genus have identified certain pathogenic bacteria. However, the microbiota of free-living voles in nature also includes members with significant probiotic effects. In this study, the gut microbiota of *Microtus lydius*, a species widely distributed in Western Anatolia, was characterized for the first time through DNA isolation from fecal samples and the use of 16S rRNA next-generation sequencing technology. The detected bacterial groups were examined across all taxonomic categories. According to the microbial analysis results of the species, the dominant bacteria in the gut microbiota are probiotic in nature, reflecting the species' dietary characteristics. Pathogenic bacteria, on the other hand, are present at low abundance and contribute to species diversity. The microbial records identified for *M. lydius* provide valuable insights for assessing the infectious risks of this species, which interacts with humans in the wild, as well as for understanding the probiotic health effects in social behavior models and contributing to phylogenetic research.

Key words: *Microtus*, wildlife, microbiota.

Batı Anadolu Tarla Faresi (*Microtus lydius* Blackler, 1916)'nde Bağırsak Mikrobiyotası Analizi ve Çevresel Sağlık Değerlendirmesi

Öz: Zoonotik patojenlerin insanlar için önemli bir risk oluşturmaları, bu patojenlerin ekosistemlerde nasıl korunduğu ve bulaştığı hakkında daha fazla bilgi edinme gerekliliğini artırmaktadır. Yaban hayatının önemli üyelerinden biri olan *Microtus* (tarla fareleri), tarlalarda geniş bir yayılışa sahiptir ve doğrudan çiftçilerle veya tarım ürünleri aracılığıyla insanlarla etkileşime girebilmektedir. Bu cinse ait mikrobiyolojik çalışmalarda bazı patojenik bakteriler tespit edilmiştir. Bununla birlikte, doğada serbest yaşayan tarla farelerinin mikrobiyotası, önemli probiyotik etkilere sahip üyeler de içermektedir. Bu çalışmada Batı Anadolu'da geniş bir yayılışa sahip *Microtus lydius* türünün bağırsak mikrobiyotası, dışkı örneklerinden DNA izolasyonu yapılarak ve 16S rRNA yeni nesil dizileme tekniği kullanılarak ilk kez karakterize edilmiştir. Tespit edilen bakteri grupları, tüm taksonomik kategorilerde incelenmiştir. Türün mikrobiyal analiz sonuçlarına göre, bağırsak mikrobiyotasındaki baskın bakteriler, türün beslenme özelliklerini yansıtacak şekilde ve probiyotik niteliktedir. Patojenik özellikteki bakteriler ise düşük yoğunlukta ve tür çeşitliliğine katkıda bulunmaktadır. Araştırma verileri, yaban hayatında insanlarla etkileşime giren bu türün enfeksiyon risk değerlendirmesi, sosyal davranış modellerindeki probiyotik sağlık etkileri ve filogenetik araştırmalar için önemli bir katkı sağlayacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: *Microtus*, yaban hayatı, mikrobiyota.

INTRODUCTION

The mammalian gastrointestinal system, which harbors the most significant microbial biodiversity on Earth, hosts over 100 trillion microorganisms (Partrick et al., 2018). Any alteration in the composition of this microbial community termed the gut microbiota, can lead

to diseases such as inflammatory bowel disease, allergies, autoimmune disorders, diabetes, mental disorders, and cancer (Bhat & Kapila, 2017). The development of the gut microbiota is regulated by a complex interplay between host and environmental factors, including diet and lifestyle (Rothschild et al., 2018). Depending on dietary habits (frugivore, herbivore, folivore, carnivore, omnivore),

mammalian microbiota hosts a broad microbial community across different animal species (Flemer et al., 2017). While viruses, fungi, and protozoa are present in the gut microbiota, bacteria dominate over other organisms (Valdes et al., 2018). According to microbial sequence data from humans and rats, Firmicutes and Bacteroidetes (93%) are similarly dominant in both (Lleala et al., 2019). However, the abundance and diversity of gut microorganisms vary depending on host species and their environment (Anwar et al., 2019). Most mammalian microbiota remains strongly associated with host phylogeny despite significant dietary changes (Amato et al., 2019). Comparative microbiota studies across animal species suggest that while gut flora initially and continuously forms through bacteria acquired from external sources, it is phylogenetically conserved over evolutionary timescales (Ley et al., 2008). Recent microbiota research supports the hypothesis that species-specific gut microbiota composition results in greater similarity among members of the same species than between different species, reflecting host phylogeny (Lombardo, 2008; Ochman et al., 2010; Nelson et al., 2013). However, the proposed link between gut microbiota changes and host phylogeny, based on studies in select animal species, lacks specificity at the bacterial species/subspecies level.

Unlike culture-based methods, culture-independent molecular techniques such as next-generation 16S rRNA metagenomic sequencing (16S NGS) offer high specificity and sensitivity, enabling detailed and precise identification of unculturable organisms, including pathogens (Liu et al., 2022). Although each mammalian species harbors a distinct gut microbiota, their contribution to mammalian evolution and diversity remains largely unexplored. Gut microbiota studies on humans and domestic animals have recently expanded to include wildlife species, aiming to understand a critical component of their bioecology (Pereira & Cunha, 2020). However, research characterizing the bacterial diversity of gut microbiota in *Microtus* species remains limited (He et al., 2020; Yang et al., 2020). In Turkey, 15 *Microtus* species are distributed: *M. socialis*, *M. obscurus*, *M. lydius*, *M. guentheri*, *M. majori*, *M. subterraneus*, *M. gud*, *M. nivalis*, *M. irani*, *M. roberti*, *M. dogramacii*, *M. anatolicus*, *M. daghestanicus*, *M. rossiaemeridionalis* (*levis*), and *M. schidlovski* (Aria, 2011). The species *Microtus lydius* has been recorded in Bilecik province, bordering Kütahya and Eskişehir in Western Anatolia (Yağcı, 2019). Species of the genus *Microtus* typically nest in uncultivated edge strips of sloping agricultural fields, fallow lands, areas with dense gramineous vegetation, and zones adjacent to agricultural fields along roadsides (Yavuz et al., 2011).

Zoonoses emerging from wildlife populations pose a significant and growing threat to human populations. Rodents, which harbor the highest number of zoonotic pathogens, frequently exhibit co-infections (Herrero-Cófreces, 2021). To prevent zoonotic diseases, it is critical to first identify the source of the pathogen or infection. Among the zoonotic pathogens associated with the genus *Microtus*, the most prominent include *Leptospira*, *Anaplasma*, *Bartonella*, *Borrelia*, *Coxiella*, *Francisella*, and *Rickettsia* (Rodríguez-Pastor et al., 2019). Members of the genus *Microtus* (voles), a key component of wildlife, are widely distributed in agricultural fields, leading to direct interactions with farmers or indirect contact via crops. Recent studies highlight that future research on probiotics in *Microtus* species could advance our understanding of gut microbiota integration into gut-brain communication and contribute to novel therapeutic approaches for human disorders (Nuccio et al., 2023).

In this study, the gut microbiota of *M. lydius* (Blackler, 1916) distributed in Bilecik province was characterized using next-generation sequencing and metagenomic approaches. Based on metagenomic analyses, the microbiota of *Microtus* was comprehensively profiled to reveal variability in specific probiotic/commensal and pathogenic bacteria, as well as the effects of species-specific and dietary traits on gut microbial composition. Additionally, a species-specific microbial record was established to enable global comparisons of gut microbiota across *Microtus* species worldwide.

MATERIAL AND METHOD

Collection of *Microtus* Fecal Samples: *Microtus lydius* specimens (7♂) widely distributed in agricultural fields and gardens of the Western Anatolia Region (Bilecik province) were collected using live traps (Figure 1). Animals collected from their habitats were transported to the laboratory on the day of capture. Following a 4-hour fasting period, fecal samples were collected from each individual under aseptic conditions using sterile swabs. The samples were immediately flash-frozen in liquid nitrogen and stored in sterile tubes at -80°C until further processing (Flemer et al., 2017). No experimental procedures were performed on the animals, and they were released back into their natural habitat following sample collection (General Directorate of Nature Conservation and National Parks, Permit No.: E-21264211-288.04-5841683).

Microbial DNA Isolation from Feces: Fecal samples from each animal were pooled for DNA isolation. For each pool, DNA was extracted using the Quick-DNA™ Fecal/Soil Microbe Miniprep Kit (Catalog No.: D6010; Zymo Research, USA) according to the

manufacturer's protocol. The quantity and purity of the isolated DNA were fluorometrically assessed using a Qubit Fluorometer (Invitrogen, USA). To optimize performance, 0.5% (v/v) β -mercaptoethanol was added to the final dilution of the genomic lysis buffer. Using this technique, a general microbiota profile characteristic of the species was established; however, due to sample pooling, individual variations could not be assessed. Due to the small sample size and the pooling of samples, statistical analyses could not be performed, as individual-level data necessary for meaningful comparisons were not available.



Figure 1. Sampling site of *Microtus lydius* in Bilecik (40°12.23'N, 29°57.80'E), with habitat and representative image of the species.

Library Preparation: The V3-V4 hypervariable region of the 16S rRNA gene was amplified using region-specific primers, followed by purification. During the index PCR step, Illumina dual indexes and adapters were added using the Nextera XT Index Kit (Illumina, USA), and the product was purified. The concentration of the generated libraries was measured via real-time PCR, normalized by dilution to 4 nM, and pooled for sequencing.

Amplicon Sequencing: After library preparation, sequencing-by-synthesis (SBS) was performed. Fluorescent signals emitted during the incorporation of each dNTP were optically detected and recorded.

Raw Data Processing: Post-sequencing data were converted into raw sequence files (FASTA format) for downstream analysis. The metagenomic data have been deposited in NCBI under the bioproject accession number PRJNA1281174.

Raw sequencing data in FastQ format were processed through the following steps:

- **Quality Control:** Overall sequence quality was assessed using *FastQC*. Additionally, read quality profiles were examined via *QIIME2* to guide downstream filtering steps.

- **Chimera Detection:** Chimeric (artificial) sequences were identified using the *DADA2* algorithm.

- **Filtering:** Reads with Phred scores below 20, as well as barcode and primer regions, were removed. Chimeric reads detected by *DADA2* were also excluded from further analysis.

- **Taxonomic Assignment:** The taxonomic composition of each sample was determined using *QIIME2* based on reference databases.

- **Diversity Analysis:** Alpha and beta diversity metrics were calculated to assess microbial community structure. Rarefaction analysis was also performed to normalize sequencing depth across samples.

Statistical Analysis: Heatmap analysis of metagenomic bacterial counts was conducted using GraphPad Prism 8 (GraphPad Software, USA).

RESULTS

The bacterial community constituting the microbiota of pooled fecal samples from *Microtus lydius* (7♂), widely distributed in Bilecik province, was analyzed across taxonomic units. At the phylum level, Bacillota was identified as the most abundant bacterial group, comprising 97.82% of the population (Figure 2a). At the class level, *Clostridia* dominated with 96.38%, while at the order level, *Eubacteriales* exhibited a high prevalence (Figure 2b, 2c). Among the 18 bacterial families detected at the family level, *Lachnospiraceae* formed the dominant population (87.02%), followed by *Oscillospiraceae* (5.67%) and *Eubacteriales* (2.02%). Other bacteria (5.28%), though present at lower proportions, significantly contributed to microbial diversity (Figure 2d).

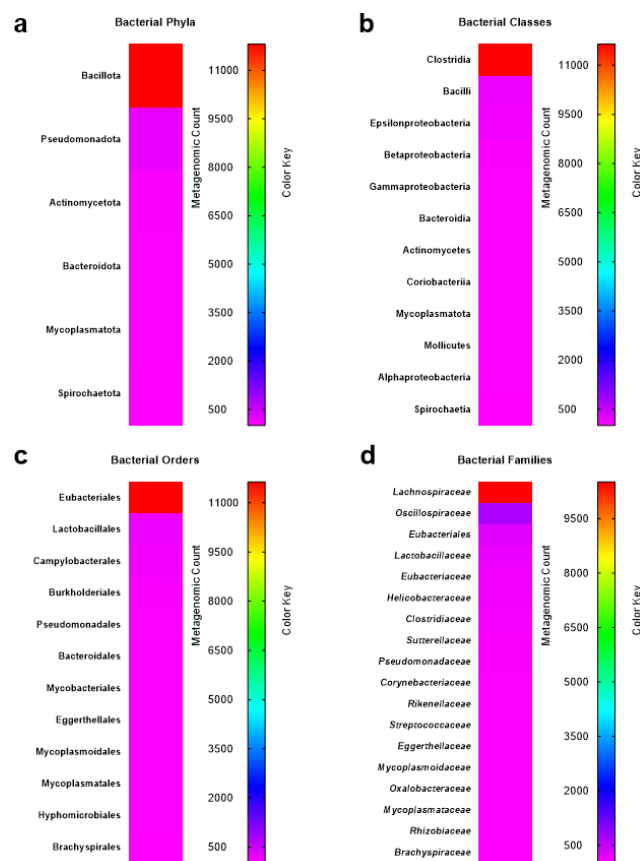


Figure 2. Bacterial Distribution at Taxonomic Levels (a-Phylum, b-Class, c-Order, d-Family) in *Microtus lydius*.

Analysis of the genus-level microbiota composition in *M. lydius* samples revealed *Kineothrix* as the dominant genus (67.33%), followed by *Roseburia* (8.53%), *Variimorphobacter* (6.48%), and *Lawsonibacter* (4.79%). Although bacteria detected at 0–2% levels were present in lower proportions, they significantly enhanced population diversity (Figure 3).

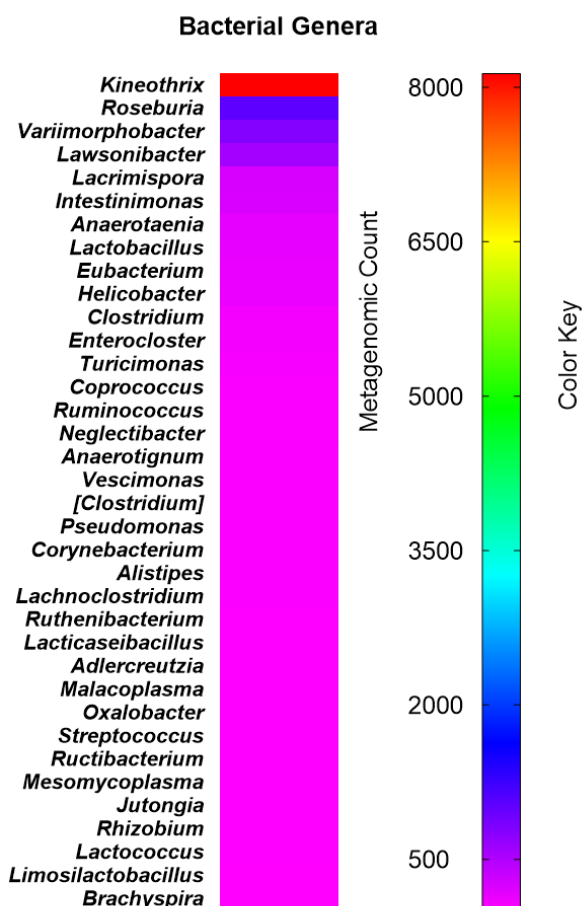


Figure 3. Bacterial Distribution at the Genus Level in *Microtus lydius*.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Rodents are the most prevalent among mammalian wildlife populations and carry numerous potential pathogens and zoonotic agents that can threaten humans (Herrero-Cófreces, 2021). For example, due to their close interactions with humans and domestic animals, wild rats have been reported to harbor opportunistic and pathogenic bacteria that can severely threaten public health (Shah et al., 2023). Meanwhile, voles (*Microtus* sp.), which are rodents closely associated with humans in agricultural areas, are considered agricultural pests due to their consumption of crop leaves, roots, and stems, despite providing benefits such as soil aeration and fertilization (Jacop et al., 2013). Studies on *Microtus* species (e.g., *Microtus agrestis*, *Microtus oeconomus*) have identified

clinically dangerous bacterial families, such as *Mycoplasmataceae*, *Bartonellaceae*, *Anaplasmataceae*, and *Francisellaceae*, in liver samples, also reflecting their gut flora. Dominant bacterial families contributing to this diversity include *Anaplasmataceae* (9%), *Lachnospiraceae* (7%), *Ruminococcaceae* (6%), *Porphyromonadaceae* (6%), and *Mycoplasmataceae* (4%) (Koskela et al., 2017).

In this study, *Lachnospiraceae* constituted the majority (87.02%) of bacterial diversity, while *Mycoplasmataceae* accounted for less than 2%, with the remaining 5.28% contributing to total microbial diversity. This suggests that species differences may act as a distinguishing factor in microbial diversity. Phylogenetic studies have highlighted the role of host genetics in shaping microbiota composition, showing that microbiota profiles are species-specific and that individuals of the same species share greater similarities than those of different species (Knowles et al., 2019). Species-specific research on the gastrointestinal microbiota of voles remains limited. Furthermore, based on our literature review, no data exist on the fecal microbiota of *Microtus lydius*. Curtis et al. (2018) characterized the fecal microbiota of female prairie voles (*Microtus ochrogaster*) using 16S rRNA gene sequencing. *Ruminococcaceae* and *Lachnospiraceae* were reported as the most abundant families in the gut microbiota of wild voles. Other dominant bacterial groups, such as *Allobaculum* species and members of *Clostridiales*, were identified as major phylotypes in the vole microbiota. The dominant fecal OTUs (operational taxonomic units) detected in all voles aligned with their dietary preferences. Researchers noted that the absence of clinically significant pathogens, previously identified in liver samples from wild animals, might relate to the sample type. Despite studying wild *Microtus* species, this study did not find any significant pathogenic bacteria in their gut.

At the phylum level, *Bacillota*; class level, *Clostridia*; order level, *Eubacteriales*; family level, *Lachnospiraceae*; and genus level, *Kineothrix* were the most dominant phylotypes. At the species level, *Kineothrix alysoides*, *Roseburia intestinalis* L1-82, *Variimorphobacter saccharofermentans*, and *Lawsonibacter asaccharolyticus* represented significant contributors to diversity. *K. alysoides* has shown potential in treating metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD) in mice fed high-fat diets (Choi et al., 2023). Increased abundance of *R. intestinalis*, linked to whole-grain diets, has been shown to improve interleukin-6 (IL-6) concentrations associated with metabolic dysfunction (Nie et al., 2021). *V. saccharofermentans*, a sugar-fermenting, anaerobic, spore-forming member of *Lachnospiraceae*, and *L. asaccharolyticus*, a recently identified butyrate-producing species, were also prominent

in the microbiota of *M. lydius*. It was reported that probiotic supplementation during *Toxoplasma gondii* infection significantly altered gut microbiota, increasing the relative abundance of *L. asaccharolyticus* (Lee et al., 2024).

In this study, the bacterial diversity of *M. lydius*, analyzed across taxonomic levels, did not reveal bacteria directly linked to human infectious diseases. However, some low-abundance bacteria detected in the diversity profile are pathogenic. For instance, *Brachyspira* infection causes cell membrane disruption, glycocalyx defects, and mitochondrial swelling involving macrophages and phagolysosomes (Tidwell et al., 2024). *Streptococcus* species produce toxins that impair immune responses and disrupt host physiology (Barnett et al., 2015). *Ruthenibacterium*, observed in COVID-19 patients with reduced immune cells and hypoxemia (Kovtun et al., 2022), and *Helicobacter pylori*, a recognized carcinogen colonizing over half the global population (Kusters et al., 2006), were also noted. Alterations in gut microbiota composition, termed dysbiosis, can lead to inflammatory bowel disease, allergies, autoimmune disorders, diabetes, mental disorders, and cancer (Bhat & Kapila, 2017). Although the bacterial populations identified in *M. lydius* gut microbiota are not currently viewed as infectious agents, shifts in their composition could pose risks. Thus, this study underscores the importance of periodically monitoring species-specific microbiota profiles in wildlife to preempt potential disease outbreaks.

The dominant bacteria constituting the gut microbiota of *M. lydius* are those with protective and therapeutic properties for intestinal health. These animals typically inhabit open areas such as meadows and pastures, and their diet consists of grasses, seeds, leaves, stems, and roots (Jacob et al., 2014). The composition of their gut microbiota confirms that it originates from their pollution-free natural habitats and plant-based diet. Microbial studies on wild small mammals in urban and rural areas emphasize that habitat differences, driven by pollution or access to varied food sources, significantly alter gut microbiota (Gurbanov et al., 2022; Kauer et al., 2024).

Research on the microbiota of *M. lydius* highlights their value for advancing microbiota-gut-brain-behavior studies due to their highly social nature. Using 16S rRNA gene sequencing and molecular strain typing, thirty *Lactobacillus* strains isolated from the intestines of prairie voles (*Microtus ochrogaster*) demonstrated antibacterial and antifungal properties, strong adhesion capabilities, resistance to bile salts, and low pH. These strains, which also show potential for inorganic mercury detoxification, represent a promising probiotic model for alleviating disorders involving social withdrawal symptoms (Assefa et al., 2015). In this study, members of the order *Lactobacillales*, specifically *Lactobacillus rodentium*,

Lactocaseibacillus paracasei, and *Lactococcus cremoris*, were identified as the second most abundant taxa at the order level. These findings, which characterize the gut bacterial composition of *M. lydius*, lay a critical foundation for advancing future research into the interaction between gut microbiota and the social brain, a pivotal area in understanding microbiota-gut-brain axis dynamics. This study is the first to characterize the fecal microbiota of *M. lydius* using next-generation sequencing (NGS) technology. The current study was conducted exclusively on male individuals. However, due to the challenges of capturing wild specimens from natural habitats, only males could be included, and the limited sample size prevented the assessment of sex- and individual-level variations in microbiota composition. Despite these limitations, dominant bacterial phylotypes were identified in the fecal microbiota of *M. lydius*, and the findings are consistent with previous microbial studies demonstrating relationships between host identity, habitat, and diet. (Jacob et al., 2014). Although sex has clear effects on physiology and behavior, several studies have reported that sex-based differences in gut microbiota composition are difficult to detect. Some researchers have suggested that sex has little to no effect on microbiota composition (Org et al., 2016). Nevertheless, broader studies including both sexes are needed for a more comprehensive and accurate characterization of a species microbial structure. Despite these constraints, this research is anticipated to contribute to zoological and public health studies in Türkiye by advancing current knowledge on the biology and ecology of *Microtus* species and human-animal-environment interactions. Moreover, it provides complementary data for the screening and monitoring of wildlife-associated pathogens that may pose risks to global public health.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially supported by TÜBİTAK 2209 (Project no: 1919B012105702).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

- Amato, K.R., Jeyakumar, T., Poinar, H., & Gros, P. (2019). Shifting climates, foods, and diseases: the human microbiome through evolution. *Bioessays*, 41(10), 1900034. DOI: [10.1002/bies.201900034](https://doi.org/10.1002/bies.201900034)
- Anwar, H., Iftikhar, A., Muzaffar, H., Almatroudi, A., Allemailem, K.S., Navaid, S., ... & Khurshid, M. (2021). Biodiversity of gut microbiota: impact of various host and environmental factors. *BioMed Research International*, 2021(1), 5575245. DOI: [10.1155/2021/5575245](https://doi.org/10.1155/2021/5575245)

- Assefa, S., Ahles, K., Bigelow, S., Curtis, J.T., & Köhler, G.A. (2015). Lactobacilli with probiotic potential in the prairie vole (*Microtus ochrogaster*). *Gut Pathogens*, 7(1), 35. DOI: [10.1186/s13099-015-0082-0](https://doi.org/10.1186/s13099-015-0082-0)
- Barnett, T.C., Cole, J.N., Rivera-Hernandez, T., Henningham, A., Paton, J.C., Nizet, V., & Walker, M.J. (2015). Streptococcal toxins: role in pathogenesis and disease. *Cellular microbiology*, 17(12), 1721-1741. DOI: [10.1111/cmi.12531](https://doi.org/10.1111/cmi.12531)
- Bhat, M.I., & Kapila, R. (2017). Dietary metabolites derived from gut microbiota: critical modulators of epigenetic changes in mammals. *Nutrition reviews*, 75(5), 374-389. DOI: [10.1093/nutrit/nux001](https://doi.org/10.1093/nutrit/nux001)
- Blackler, W.G. (1916). L-On a new species of *Microtus* from Asia Minor. *Annals and Magazine of Natural History*, 17(102), 426-427. DOI: [10.1080/00222931608693808](https://doi.org/10.1080/00222931608693808)
- Choi, K.J., Yoon, M.Y., Kim, J.-E., & Yoon, S.S. (2023). Gut commensal *Kineothrix alysoides* mitigates liver dysfunction by restoring lipid metabolism and gut microbial balance. *Scientific Reports*, 13(1), 14668. DOI: [10.1038/s41598-023-41160-y](https://doi.org/10.1038/s41598-023-41160-y)
- Curtis, J.T., Assefa, S., Francis, A., & Köhler, G.A. (2018). Fecal microbiota in the female prairie vole (*Microtus ochrogaster*). *PLoS One*, 13(3), e0190648. DOI: [10.1371/journal.pone.0190648](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190648)
- Flemer, B., Gaci, N., Borrel, G., Sanderson, I.R., Chaudhary, P.P., Tottey, W., ... & Brugère, J.-F. (2017). Fecal microbiota variation across the lifespan of the healthy laboratory rat. *Gut microbes*, 8(5), 428-439. DOI: [10.1080/19490976.2017.1334033](https://doi.org/10.1080/19490976.2017.1334033)
- Gurbanov, R., Kabaoğlu, U., & Yağci, T. (2022). Metagenomic analysis of intestinal microbiota in wild rats living in urban and rural habitats. *Folia Microbiologica*, 67(3), 469-477. DOI: [10.1007/s12223-022-00951-y](https://doi.org/10.1007/s12223-022-00951-y)
- He, W.-q., Xiong, Y.-q., Ge, J., Chen, Y.-x., Chen, X.-j., Zhong, X.-s., ... & Mo, Y. (2020). Composition of gut and oropharynx bacterial communities in *Rattus norvegicus* and *Suncus murinus* in China. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 413. DOI: [10.1186/s12917-020-02619-6](https://doi.org/10.1186/s12917-020-02619-6)
- Herrero-Cófreces, S., Mougeot, F., Lambin, X., & Luque-Larena, J.J. (2021). Linking zoonosis emergence to farmland invasion by fluctuating herbivores: common vole populations and tularemia outbreaks in NW Spain. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 698454. DOI: [10.3389/fvets.2021.698454](https://doi.org/10.3389/fvets.2021.698454)
- Jacob, J., Manson, P., Barfknecht, R., & Fredricks, T. (2014). Common vole (*Microtus arvalis*) ecology and management: implications for risk assessment of plant protection products. *Pest management science*, 70(6), 869-878. DOI: [10.1002/ps.3695](https://doi.org/10.1002/ps.3695)
- Kauer, L., Imholt, C., Jacob, J., Berens, C., & Kühn, R. (2024). Seasonal shifts and land-use impact: unveiling the gut microbiomes of bank voles (*Myodes glareolus*) and common voles (*Microtus arvalis*). *FEMS Microbiology Ecology*, 100(12), fiae159. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae159>
- Khalil Aria, A. (2011). Ecology and taxonomic status of the genus *Microtus schrank*, 1798 (Mammalia: Rodentia) in North-West Iran. PhD Thesis, Ankara University, Ankara, Turkey (in Turkish), Retrieved from <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/47973>
- Knowles, S., Eccles, R., & Baltrūnaitė, L. (2019). Species identity dominates over environment in shaping the microbiota of small mammals. *Ecology Letters*, 22(5), 826-837. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13240>
- Koskela, K. A., Kalin-Mänttari, L., Hemmälä, H., Smura, T., Kinnunen, P. M., Niemimaa, J., ... Nikkari, S. (2017). Metagenomic evaluation of bacteria from voles. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 17(2), 123-133. DOI: <https://doi.org/10.1089/vbz.2016.1969>
- Kovtun, A. S., Averina, O. V., Angelova, I. Y., Yunes, R. A., Zorkina, Y. A., Morozova, A. Y., ... Kostyuk, G. P. (2022). Alterations of the composition and neurometabolic profile of human gut microbiota in major depressive disorder. *Biomedicine*, 10(9), 2162. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicine10092162>
- Kusters, J. G., Van Vliet, A. H., & Kuipers, E. J. (2006). Pathogenesis of *Helicobacter pylori* infection. *Clinical microbiology reviews*, 19(3), 449-490. DOI: <https://doi.org/10.1128/cmr.00054-05>
- Lee, H.-J., Ham, D.-W., Seo, S.-H., Cha, G.-H., & Shin, E.-H. (2024). Probiotic-induced changes in intestinal microbiome inhibits *Toxoplasma gondii* infection. *Parasites, Hosts and Diseases*, 62(4), 408. DOI: <https://doi.org/10.3347/PHD.24068>
- Ley, R. E., Hamady, M., Lozupone, C., Turnbaugh, P. J., Ramey, R. R., Bircher, J. S., ... Knight, R. (2008). Evolution of mammals and their gut microbes. *science*, 320(5883), 1647-1651. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1155725>
- Liu, S., Moon, C. D., Zheng, N., Huws, S., Zhao, S., & Wang, J. (2022). Opportunities and challenges of using metagenomic data to bring uncultured microbes into cultivation. *Microbiome*, 10(1), 76. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01272-5>
- Lleal, M., Sarabayrouse, G., Willamil, J., Santiago, A., Pozuelo, M., & Manichanh, C. (2019). A single faecal microbiota transplantation modulates the microbiome and improves clinical manifestations in a rat model of colitis. *EBioMedicine*, 48, 630-641. DOI: [10.1016/j.ebiom.2019.10.002](https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.10.002)
- Lombardo, M.P. (2008). Access to mutualistic endosymbiotic microbes: an underappreciated benefit of group living. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62(4), 479-497. DOI: [10.1007/s00265-007-0428-9](https://doi.org/10.1007/s00265-007-0428-9)

- Nelson, T.M., Rogers, T.L., & Brown, M.V. (2013). The gut bacterial community of mammals from marine and terrestrial habitats. *PLoS One*, *8*(12), e83655. DOI: [10.1371/journal.pone.0083655](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083655)
- Nie, K., Ma, K., Luo, W., Shen, Z., Yang, Z., Xiao, M., ..., & Wang, X. (2021). Roseburia intestinalis: a beneficial gut organism from the discoveries in genus and species. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *11*, 757718. DOI: [10.3389/fcimb.2021.757718](https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.757718)
- Nuccio, D.A., Normann, M.C., Zhou, H., Grippo, A.J., & Singh, P. (2023). Microbiome and metabolome variation as indicator of social stress in female prairie voles. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(2), 1677. DOI: [10.3390/ijms24021677](https://doi.org/10.3390/ijms24021677)
- Ochman, H., Worobey, M., Kuo, C.-H., Ndjango, J.-B. N., Peeters, M., Hahn, B.H., & Hugenholtz, P. (2010). Evolutionary relationships of wild hominids recapitulated by gut microbial communities. *PLoS biology*, *8*(11), e1000546. DOI: [10.1371/journal.pbio.1000546](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000546)
- Org, E., Mehrabian, M., Parks, B.W., Shipkova, P., Liu, X., Drake, T.A., & Lusi, A.J. (2016). Sex differences and hormonal effects on gut microbiota composition in mice. *Gut microbes*, *7*(4), 313-322. DOI: [10.1080/19490976.2016.1203502](https://doi.org/10.1080/19490976.2016.1203502)
- Partrick, K.A., Chassaing, B., Beach, L.Q., McCann, K.E., Gewirtz, A.T., & Huhman, K.L. (2018). Acute and repeated exposure to social stress reduces gut microbiota diversity in Syrian hamsters. *Behavioural brain research*, *345*, 39-48. DOI: [10.1016/j.bbr.2018.02.005](https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.02.005)
- Pereira, A.C., & Cunha, M.V. (2020). An effective culturomics approach to study the gut microbiota of mammals. *Research in Microbiology*, *171*(8), 290-300. DOI: [10.1016/j.resmic.2020.09.001](https://doi.org/10.1016/j.resmic.2020.09.001)
- Rodríguez-Pastor, R., Escudero, R., Lambin, X., Vidal, M. D., Gil, H., Jado, I., ... & Mougeot, F. (2019). Zoonotic pathogens in fluctuating common vole (*Microtus arvalis*) populations: occurrence and dynamics. *Parasitology*, *146*(3), 389-398. DOI: [10.1017/S0031182018001543](https://doi.org/10.1017/S0031182018001543)
- Rothschild, D., Weissbrod, O., Barkan, E., Kurilshikov, A., Korem, T., Zeevi, D., ... & Bar, N. (2018). Environment dominates over host genetics in shaping human gut microbiota. *Nature*, *555*(7695), 210-215. DOI: [10.1038/nature25973](https://doi.org/10.1038/nature25973)
- Shah, T., Hou, Y., Jiang, J., Shah, Z., Wang, Y., Li, Q., ... & Xia, X. (2023). Comparative analysis of the intestinal microbiome in *Rattus norvegicus* from different geographies. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1283453. DOI: [10.3389/fmicb.2023.1283453](https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1283453)
- Tidwell, J., Fusco, J., Nguyen, M.T.T., Nam, G.H., & Goldenberg, S. (2024). Colonizing the Unlikely: *Brachyspira* in an Immunocompetent Patient. *ACG Case Reports Journal*, *11*(4), e01338. DOI: [10.14309/crj.0000000000001338](https://doi.org/10.14309/crj.0000000000001338)
- Valdes, A.M., Walter, J., Segal, E., & Spector, T.D. (2018). Role of the gut microbiota in nutrition and health. *Bmj*, *361*. DOI: [10.1136/bmj.k2179](https://doi.org/10.1136/bmj.k2179)
- Yağcı, T. (2019). Species identification of small mammal fauna in Bilecik province and molecular researches for the protection of gene resources. *International Journal of Agricultural and Wildlife Sciences*, *5*(1), 149-160. DOI: [10.24180/ijaws.478168](https://doi.org/10.24180/ijaws.478168)
- Yang, G., Shi, C., Zhang, S., Liu, Y., Li, Z., Gao, F., ... & Li, M. (2020). Characterization of the bacterial microbiota composition and evolution at different intestinal tract in wild pigs (*Sus scrofa ussuricus*). *PeerJ*, *8*, e9124. DOI: [10.7717/peerj.9124](https://doi.org/10.7717/peerj.9124)
- Yavuz, M., Öz, M., & Albayrak, I. (2011). Ecological preferences of the Anatolian vole *Microtus anatolicus* (Rodentia: Cricetidae), an endemic species of the Anatolia. *Ekoloji*, *20*(80). DOI: [10.5053/ekoloji.2011.808](https://doi.org/10.5053/ekoloji.2011.808)



Anıtsal Taş Yapılarda Bozunmalar: Hatay-Antakya Alvan Su Kemerleri Örneği

Ayşe DOLAR^{1*}

Murat DAL²

Erol ATAY³

^{1,3}Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyolog, Hatay, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Tasarımı Bölümü, Tunceli, Türkiye

Geliş Tarihi: 03.06.2025

Kabul Tarihi: 10.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atf yapmak için: **Dolar, A., Dal, M., & Atay, E. (2025).** Anıtsal Taş Yapılarda Bozunmalar: Hatay-Antakya Alvan Su Kemerleri Örneği. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 478-484. <https://doi.org/10.35229/jaes.1713421>

How to cite: **Dolar, A., Dal, M., & Atay, E. (2025).** Deterioration in Monumental Stone Structures: The Case of Hatay-Antakya Alvan Aqueducts. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 478-484. <https://doi.org/10.35229/jaes.1713421>

*<https://orcid.org/0000-0002-5933-9442>
<https://orcid.org/0000-0001-5330-1868>
<https://orcid.org/0000-0002-5274-1025>

***Sorumlu yazar:**

Ayşe DOLAR
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen
Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Biyolog, Hatay, Türkiye
✉: aysemulla@hotmail.com

Öz: Günümüzde var olan su kemerleri, modern teknolojinin su sorununu çözmeye yönelik yenilikçi yaklaşımlarının bir sonucu olarak, bu su yapılarının işlevlerini yitirmesi ve zamanla birçok faktöre (doğal, çevresel ve insan kaynaklı) maruz kalarak yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Çalışma, Alvan Su Kemerleri'nin doğal taşlarında meydana gelen bozunma türlerini ve bozunmalara sebep olan etkileri belirlemeyi ve yapıyı korumanın önemine dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada Hatay ili Antakya ilçesinde yer alan Alvan Su Kemerleri'ni tehdit eden fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmalar yerinde fotoğraflanarak incelenmiştir. Bugün, Asi nehrine en yakın olan ve koruma altına alınmamış olan Alvan Su Kemerleri, yüksek seviyedeki dış etkiler nedeniyle farklı bozunma türlerine maruz kalmış, anıtsal en belirgin bozunma türlerinin özellikle sıcak-kuru iklimde sıklıkla gözlenen petekgözlülük, çatlak, derz boşalması ve malzeme kaybı gibi fiziksel bozunmalara rastlanmıştır. Kimyasal bozunmalardan renk değişimi ve kararma ile biyolojik etkilerin sebep olduğu hayvan yuvaları ve bitki oluşumu olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada tespit edilen bozunmaların yanı sıra, rüzgâr, nem, hava kirliliği ve yetersiz bakım gibi bozunmaya katkıda bulunan unsurlar da diğer bulgular arasında yer almaktadır. Yapının mevcut durumu ile 3 yıl öncesindeki fotoğraflarda kaydedilenler arasında yapılan karşılaştırmada, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi sonrasında ağır hasar alan Hatay ilinde bu yapının tamamen yıkıldığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alvan su kemerleri, bozunma, Hatay, naura.

Deterioration in Monumental Stone Structures: The Case of Hatay-Antakya Alvan Aqueducts

***Corresponding author's:**

Ayşe DOLAR
Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of
Arts and Sciences, Department of Biology,
Biologist, Hatay, Türkiye
✉: aysemulla@hotmail.com

Abstract: As a result of the innovative approaches of modern technology to solve the water problem, the aqueducts that exist today are in danger of losing their function and becoming extinct over time by being exposed to many factors (natural, environmental and man-made). The study aims to determine the types of deterioration and the effects that cause the deterioration of the natural stones of the Alvan aqueduct and to draw attention to the importance of protecting the structure. In the study, the physical, chemical and biological degradation threatening the Alvan aqueduct in Antakya district of Hatay province was photographed and examined on site. Today, the Alvan aqueduct, which is closest to the Asi river and is not protected, has been subjected to different types of deterioration due to the high level of external influences, and the most prominent types of deterioration in the monument were found to be physical deterioration such as honeycombing, cracks, grouting and loss of material, which are frequently observed especially in hot-dry climates. Chemical degradation such as discolouration and darkening and biological impacts such as animal nests and plant formation were identified. In addition to the deterioration detected in the study, other factors contributing to deterioration such as wind, humidity, air pollution and inadequate maintenance are among the other findings. A comparison between the current condition of the building and the ones recorded in the photographs taken 3 years ago revealed that this building was completely destroyed in Hatay province, which was heavily damaged after the 6 February 2023 Kahramanmaraş earthquake.

Key words: Alvan aqueduct, deterioration, Hatay, naura.

GİRİŞ

Şehirlerin çoğu tarih boyunca nehir yatakları üzerine kurulmuştur. Su, insan yaşamında her zaman büyük bir rol oynamıştır; yerleşik hayata geçişte ve tarımın ortaya çıkışında bir önemli faktör olmuştur. Kentlerde su teminini sağlamak sanat eseri niteliğindeki su kemerlerinin

varlığı ile değer kazanmıştır (Ocak, 2009). Su kemerleri, Akdeniz ülkelerindeki en eski su mimarisi tipolojilerinden biridir. Teknolojisi yüzyıllar boyunca süregelen ve 20. yüzyıldaki gelişmelere rağmen birçok yerde kentin su ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmıştır (De Miranda, 2004).

Tarih boyunca inşa edilen çeşitli mimari yapılar içerisinde doğal taş, sürekli değişim sürecinin birincil bileşenidir (Kar vd., 2024). Taş, tarihi yapılarda kullanılan en dayanıklı malzeme olmasına rağmen, yine de birçok nedenden dolayı zamanla bozunmakta ve parçalanmakta, bu da koruma çabalarını gerekli kılmaktadır (Korkanç, 2020). Tarihi yapılarda kullanılan taşların durumu olumsuz koşullarda yapının yok olmasına neden olabilecek birçok hususu da beraberinde getirmektedir (Küçükkaya, 2004; Korkanç, 2013).

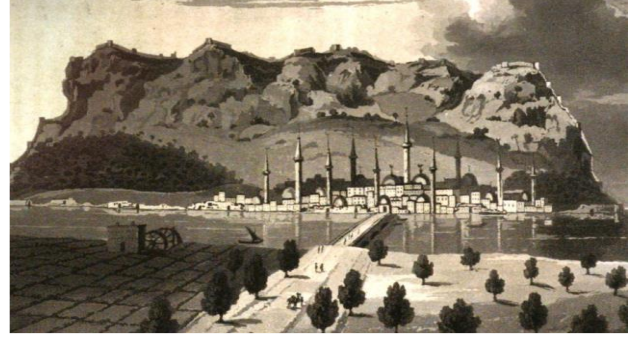
Tarihi yapılar, uygarlık tarihi boyunca insanlar tarafından çeşitli nedenlerle inşa edilmiş olan kültürel mirasımızın en önemli bileşenleridir. Bu yapılar, tür olarak ortak mirasımızın bir parçası olarak korunmalı ve gelecek nesillere aktarılmalıdır. Bu yapılar, dönemin sosyal, kültürel ve ekonomik yapısının yanı sıra estetik, teknik ve mimari değerlerini de yansıtarak yaşam biçiminin bir kaydı niteliğindedir. Kent kültürleri, tarihi kent dokusunu oluşturan binalar tarafından şekillendirilir. Kireçtaşının yüzyıllardır kullanılan en yaygın yapı malzemelerinden biri olmasının nedeni, kolay bulunabilmesi ve üzerinde çalışılabilmesidir (Yıldırım, 2007).

Tarihi yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşların korunması; tarihi alanların ve binaların korunması ve sürdürülebilirliği, o kentin kimliğinin korunmasına ve gelişmesine yardımcı olur (Ağan & Değirmenci, 2021; Kar vd., 2024). Çalışma alanı olarak seçilen Hatay Antakya Alvan Su Kemerinin mimarlık tarihimiz ve kültürümüzde önemli bir yeri olan anıt eserlerdendir. İlk olarak Romalılar tarafından yaklaşık olarak M.Ö. 600 ila 700 yılları arasında icat edilmiştir (Yannopoulos vd., 2015). Orta Çağ boyunca Arap medeniyetlerinin genişlemesi, nauraların İslam dünyasında geniş çapta yayılmasına ve aşamalı olarak değiştirilmesine katkıda bulunmuştur (Heider vd., 2022).

Su kemerleri hayvanların, insanların veya suyun gücüyle suyu yükselten makineler olmak üzere üç farklı türü bulunmaktadır. Üçüncü tip, nehrin gücünü kullanarak suyu yükselten ve nehrin sağladığı büyük güç nedeniyle tarlaları sulamak veya daha büyük yapılara su sağlamak için kullanılan "hidrolik naura"dır. Bu, Suriye'de Oronte nehri üzerinde yaygın olan tipolojidir, ancak teknolojisi değişmeyen Irak, İspanya, Fas, Portekiz gibi Akdeniz havzasının diğer bölgelerinde bugün hala kullanılmaktadır (De Miranda, 2004).

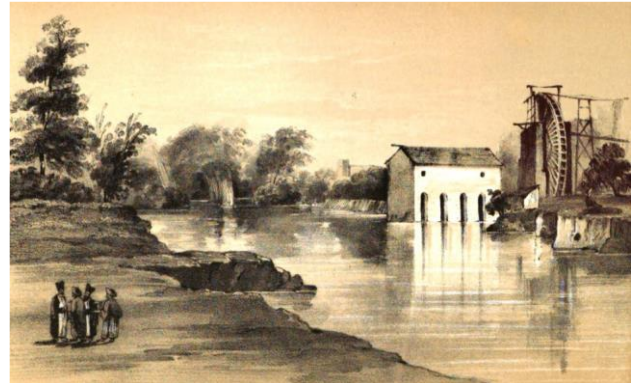
Alvân Su Kemerinin günümüzde Hatay İli Antakya ilçesine bağlı Haraparası Mahallesinde Asi Nehri'ne dik konumda bulunmakta ve yaklaşık yapının sadece 55 m kadarı günümüze ulaşmıştır. Çalışmanın konusunu oluşturan Alvân Su Kemerinin, 1950-1970 yılları arasında bir proje kapsamında Asi yatağını ıslah etmek amacıyla nehir ile yapı arasına bir yol inşa edilmiştir. Ayrıca daraltılıp derinleştirilen nehir yatağından oldukça yüksekte ve

yaklaşık 25 m uzaklıktadır (Özbay, 2012). Binaların inşasında kullanılan malzemeler ve inşaat tekniklerinden net tarihsel çıkarımlar yapılamaz. T. Modland'ın 18. yüzyıl Antakya gravüründe, R. Cockburn'un 1850'den önceki Antakya gravüründe ve 20. yüzyılın başlarından bazı fotoğraflardan referans alınarak tarihsel bilgiler açısından fikir vermiştir (Şekil 1-3). Geçmişte çok sayıda Anadolu uygarlığı depremler yaşamıştır. Bölgenin birinci derece deprem bölgesinde olması ve geçmişte büyük depremlerle yıkılmış olması göz önüne alındığında, su kemerinin 20. yüzyılın ortalarına kadar birçok onarım ve tadilat geçirdiği düşünülmektedir (Tekin, 2004; Özbay, 2012).



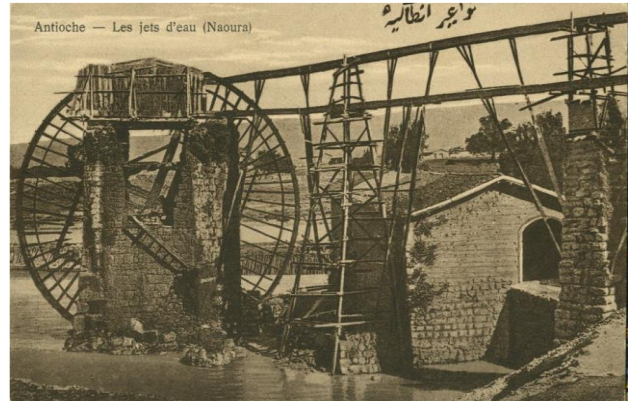
Şekil 1. 18. yy.'da T. Modland'ın Naura ile sulanan tarla ve bahçelerin görüldüğü bir gravürü (Özbay, 2012).

Figure 1. 18th century engraving by T. Modland showing fields and gardens irrigated with Naura.



Şekil 2. 19. yy.'da R. Cockburn'un gravüründe Asi Nehri üzerindeki naura ve değirmen binası (Özbay, 2012).

Figure 2. 19th century engraving by R. Cockburn of the naura and mill building on the Asi River.



Şekil 3. 20. yy.'ın başlarında Asi Nehrinde, değirmen eşliğindeki naura (Özbay, 2012).

Figure 3. Early 20th century naura on the Asi River, accompanied by a water mill.

Günümüzde, nehre en yakın olan ve koruma altına alınmamış olan kısım, öncelikle yüksek seviyedeki dış etkiler nedeniyle farklı bozunma türlerine maruz kalmaktadır. Nehirden gelen suyu yüksek kasabalara ve tarlalara taşımak için inşa edilen Naura devasa anıtsal bir su dolabıdır. Ahşap bir tekerlek ve duvar bileşenleri bir araya gelerek görsel olarak hoş ve kullanışlı bir bütün oluşturur. Bu etkilere bağlı olarak don hasarı, tuz kristalizasyonu, bileşik ve kabuk oluşumu, çözünme ve sızma, erozyon, şişme, dökülme, çatlama ve biyolojik bozunma gibi bozunmalar meydana gelmektedir (Unković vd., 2023).

Taşların bozunması, malzeme yapısı ve çeşitli çevresel faktörlere bağlı olarak çalışmada bahsedilen bozunma faktörlerinden bir veya birkaçının bir araya gelmesiyle oluşur. Bozunmayı başlatan fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler birbirini destekleyerek ilerler ve malzemenin ayrışmasına neden olur. Bozunmaya neden olan faktörler Tablo 1'de sınıflandırılmıştır (Dal & Öcal, 2013).

Tablo 1. Bozunma Türleri (Dal & Öcal, 2013).
Table 1. Types of Degradation (Dal & Öcal, 2013).

Fiziksel Bozunma	Kimyasal Bozunma	Biyolojik Bozunma
Çatlak - Kırık Oluşumu	Siyah Tabaka Oluşumu	Yosunlaşma
Petekgözlülük	Tuzlanma (Çiçeklenme)	Bakteri oluşumu
Aşınma (Erozyon)	Pullanma	Kara yosun oluşumu
Derz boşalması	Renk değişimi	Mantar oluşumu
Parça kopması	Kabuklanma	Liken oluşumu
Antropojenik Kaynaklı Kesik ve Çizikler	Korozyon ve Pas Lekesi	Bitki oluşumu
Malzeme kaybı	Tozlaşma	Hayvanlar

MATERYAL VE METOT

Araştırma alanı Hatay ili Antakya ilçesi Haraparası mahallesi sınırlarındadır. Çalışmanın ana materyalini Alvan Su Kemerli'nin tarihi taş yapısındaki bozunmalar oluşturmıştır. Bu çalışmada, taş bozunmalarına dikkat çekmek için gözlem analiz sentez yöntemi (Fitzner, 2004) kullanılmıştır. Meydana gelen bozunmalar öncelikle görsel analizler ile belirlendikten sonra resimlerle desteklenmiştir. Fotoğraflama çalışmaları için, Canon EOS 6D fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Yapıdaki bozunmalar daha önce yayınlanmış literatür ışığında belirlenmiş ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç kategoride incelenmiştir. Her bir bozunma türü belirtilen kategorilerde alt başlıklar halinde sınıflandırılmış ve yerinde gözlem yapılarak fotoğraflanan örneklerle açıklanmıştır.

BULGULAR

Taş yapılar, doğal süreçlerinin bir parçası olarak çeşitli etkenler sonucunda hasar görürler. Bu hasarlar yer seçimi, zemin özellikleri, taşıyıcı sistem tasarım hataları, kötü işçilik, hatalı malzeme seçimi, doğal afetler, uzun süreli doğal etkenler ve çeşitli antropojenik etkenler sonucunda meydana gelir. Yapı malzemeleri zaman ve

çevresel faktörler karşısında dayanımlarını kaybederek fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmalara uğrarlar. Bu bozunmalar yapının bütünlüğüne zarar vererek kalıcı hasarlara yol açabilir. Doğru koruma ve onarım tekniklerinin uygulanabilmesi için hasara neden olan faktörlerin belirlenmesi ve ayrışma türlerinin sınıflandırılması önemlidir (Kara, 2009; Hatir vd., 2020). Antakya'nın Haraparası Mahallesi'nde Asi Nehri kıyısında bulunan su kemeri kalıntıları incelenmiş ve yapıda kullanılan kireç taşının yüzeylerinde gözlenen bozunmalar tespit edilmiş ve elde edilen bulgular başlıklar altında detaylı olarak sunulmuştur. Alvan Su Kemerli'nde meydana gelen fiziksel (petekgözlülük, derz boşalması) kimyasal (Renk değişimi ve kararma) ve biyolojik (bitki oluşumu, hayvan yuvaları) bozunmalar Şekil 4-10'da gösterilmiştir.

Alvan Su Kemerli'nde gözlenen fiziksel bozunmalar: Fiziksel bozunma, taşları oluşturan minerallerin yapısında herhangi bir değişiklik olmadan, taşların bağlarının zayıflaması ve parçalanmasıdır. Doğal taşlardaki fizikomekanik bozulma, sıcaklık değişimleri, nem, tuz kristalleşmesi ve rüzgârla ilgili faktörlerden kaynaklanır (Öcal & Dal, 2012).

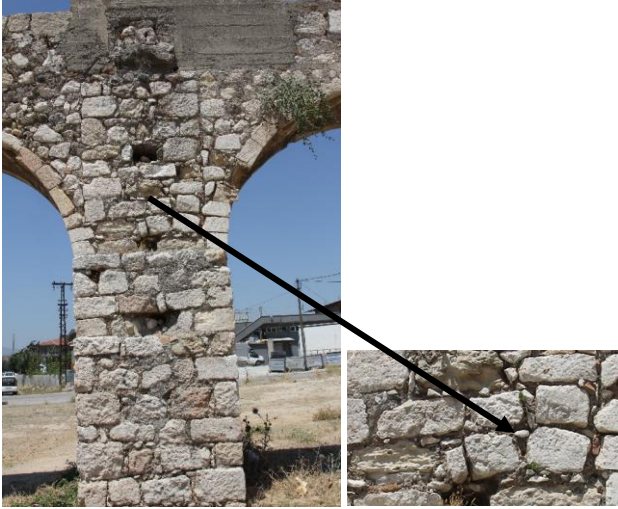
Petekgözlülük (Alveolleşme): Özellikle kuru iklimlerde atmosferik koşullar ve erozyona bağlı olarak homojen olmayan taş türlerinde görülen, petek veya deniz süngeri görünümünde çukurlarla seyreden bir bozunma türüdür. Çukurlar, taş yüzeyinde birbirine bağlı formlarda görülür ve bozunmanın ilerlemesine bağlı olarak birkaç cm veya 1 metre boyutlarındadır. Alveolleşmenin neden olduğu yüzey kaybı taşın kesitinin azalmasına neden olur. Ayrıca bozulmaya maruz kalacak alanın artmasına neden olduğu için diğer bozunma türlerinin de önünü açmaktadır. Alvan Su Kemerli'nde alveolleşme şeklinde görülen bozunma, kuru iklim ve erozyona bağlı olarak farklı boyutlarda ve cephelere yayılmış şekilde görülmektedir (Şekil 4) (Çetin, 2014; Ergin vd., 2022).



Şekil 4. Alvan Su Kemerli'nde görülen petekgözlülük.
Figure 4. Honeycombing in the Alvan aqueduct.

Derz Boşalması: Duvarı oluşturan taşlar yerleştirilirken kullanılan harç, taşın kendi yapısına göre aşınmaya karşı daha az dayanıklı olduğu için zamanla, özellikle yağış sonucu zayıflayıp çözülebilir ve taşlardan

ayrılabilir. Bu durum, taşlar arasındaki derzlerde çeşitli derinlik ve boyutlarda boşluklar oluşturarak zemin ve tavan yüzeylerinin açığa çıkmasına neden olmaktadır. Harç aşınması diğer bozunma türlerini hızlandırmakta ve taşlarda parça ve mukavemet kaybına neden olmaktadır (Şekil 5) (Hasbay & Hattap, 2017).



Şekil 5. Alvan Su Kemerleri'nde görülen derz boşalması
Figure 5. Joint failure in the Alvan aqueduct

Çatlak: Mekanik dış etkilerin uyguladığı kuvvetin, taşı oluşturan minerallerin molekülleri arasındaki bağı veya taş parçacıklarını belirli bir doğrusal veya doğrusal olmayan çizgi boyunca bir arada tutan doğal çimentoyu kırarak taşın iki farklı katman oluşturmaya neden olduğu bir olgudur (Şekil 6).



Şekil 6. Alvan Su Kemerleri'nde görülen çatlaklar
Figure 6. Cracks in the Alvan aqueduct

Alvan Su Kemerleri'nde gözlenen kimyasal bozunmalar: Taş anıtlarda gözlenen kimyasal bozunmalar, nem düzeyi ve sıcaklığın etkisiyle çözelti, oksidasyon ve hidroliz olayları sonucunda kayaçların kimyasal yapısında meydana gelen çözünme ve ayrışma gibi değişimlerdir (Öcal & Dal, 2012; Çetin, 2014). Sıcaklık ve yağış gibi dış etkenlerin yanı sıra, karbonlu aerosol emisyonları ile fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kükürt ve azot oksitler gibi atmosferik kirletici konsantrasyonları, özellikle kentsel alanlardaki taş anıtlar üzerinde olumsuz etkiye sahiptir (Basu vd., 2020; Çetin, 2014).

Renk değişimi: Taşların yapısının bir parçası olan farklı minerallerin oksitlenmesi ve parçalanması, mikroorganizmaların taşların içinde kolonileşmesi ve taşın orijinal renginin kademeli olarak çeşitli renklere dönüşmesi şeklinde kendini gösterir. Taşlarda görülen renk bozulması sınıflandırması, renk bozulması/ağartma, renk atması, lekelenme ve nemli bölgeler gibi bozulma biçimlerini içerir (Şekil 7) (Vergès-Belmin, 2008).



Şekil 7. Alvan Su Kemerleri'nde görülen renk değişimi.
Figure 7. Discolouration of the Alvan aqueduct.

Kararma: Hava kirliliği de dahil olmak üzere atmosferik partiküllerin kalsiyum karbonat esaslı taşların yapısındaki kalsiyum karbonatı (CaCO_3) çözerek tekrar kalsiyum karbonat (CaCO_3) veya alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dönüştürmesiyle koyu gri-siyah kabuklaşma şeklinde ortaya çıkar (Şekil 8).



Şekil 8. Alvan Su Kemerleri'nde görülen kararma.
Figure 8. Blackening of the Alvan aqueduct.

Alvan Su Kemerleri'nde gözlenen biyolojik bozunmalar: Biyolojik bozunma, çeşitli biyolojik organizmaların ve bitkilerin taş yüzeylere yerleşmesi ve atmosferik etkenler sonucu büyümesiyle ayrılmaya neden olur (Gürel, 2023). Taşın biyolojik faaliyetler nedeniyle bozulması, bitkiler ve bakteriler, siyanobakteriler, algler, mantarlar ve likenler gibi mikroorganizmalar tarafından tek başına veya birlikte kolonize edilmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Taş yüzeyinde veya içinde yuva yapan hayvanlar gibi diğer organizmaların etkileri de biyolojik kolonizasyon olarak kabul edilir (Vergès-Belmin, 2008).

Bitki oluşumu: Bakımsız ve yıpranmış anıtların duvarlarına rüzgar nedeniyle taşınan toprak ve toz, bitki tohumlarının çimlenmesi için ortamı uygun hale getirir. Hayvanlar ya da rüzgârla taşınan bitki diasporları, anıtın duvarlarında çimlenip büyüyerek mikroklimatik bir ortam oluşturur. Bu durumda bitkiler yapıyı hem fiziksel hem de kimyasal olarak çürütür. Bitki köklerinin taş yapı malzemesi içinde büyümesi, oluşturdıkları fiziksel basınç nedeniyle çatlaklara neden olur ve yapı su ve kimyasal çözeltilerin sızmasına açık hale gelir (Şekil 9) (Ergin vd., 2022).



Şekil 9. Alvan Su Kemerî'nde görülen bitki oluşumu.
Figure 9. Plant growth in the Alvan aqueduct.

Hayvanlar: Hayvanlar taşları delerek, oyarak ve kazarak mekanik ve fiziksel zarar verirler ve dışkıları, kalıntıları ve salınan asitler kimyasal ayrışma faktörlerine katkıda bulunur. Taşların yüzeyleri, yarıkları ve oyukları karıncalar, sinekler, örümcekler, arılar, keneler ve böcekler gibi canlılara ev sahipliği yapar. Bunlar arasında, atıkları taşların yüzeylerinde biriktiren ve boşluklar oluşturarak ve yiyecek için taşların yüzeyinden malzeme çıkararak yavaş yavaş kayıplara neden olan sinekler de bulunmaktadır (Şekil 10) (Caneva vd., 1991).



Şekil 10. Alvan Su Kemerî'nde görülen hayvan yuvaları.
Figure 10. Nests of animals seen in the Alvan aqueduct.

Bulgular, su kemerinin büyük bir değirmen kompleksinin parçası olduğunu ve günümüze ulaşmayan bir yapı biçimi olan naura olduğunu göstermiştir (Özbay, 2012). Yapılan inceleme ve araştırmalara göre, Antakya'nın Haraparası mahallesinde Asi Nehri kıyısında

bulunan Alvan Su Kemerî kalıntıları, günümüze ulaşamayan naura tipi bir yapının parçası olup 6 Şubat Kahramanmaraş depremiyle son kalıntıları da tamamen yıkılmıştır. Bu tarihi yapının günümüze kadar olan kısmı Şekil 11'de 2022 yılına ait görselle gösterilmiş ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremiyle tamamen yıkılmış olan yapının görseli Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Alvan Su Kemerî kalıntısı (2022).
Figure 11. Remains of the Alvan aqueduct.



Şekil 12. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde yıkılmış Alvan Su Kemerî kalıntıları.
Figure 12. 6 February 2023 Remains of the Alvan aqueduct destroyed in the Kahramanmaraş earthquake.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünya kültür mirasında önemli bir yere sahip olan taş mimari eserler çeşitli etkenlerle zarar görmekte ve zamanla yok olmaktadır. Yapıların korunması kültürel sürekliliğin sağlanması açısından önemlidir (Gürel, 2023).

Bir araştırmada, Ricote Vadisi'ndeki nauraların %88'inin şu anda kullanılmadığını ve uzmanlar tarafından belirtilen bozunmanın en önemli nedenlerinden birinin yeni teknolojilerin, özellikle de motorlu pompaların kullanılmaya başlanması olduğunu göstermiştir. Genel olarak, motorlu pompalar (dizel veya elektrikli pompalar) kolayca satın alınabilir, daha ucuz, daha kullanışlı, kolay taşınabilir ve farklı sahalara kolayca adapte edilebilirken, yüksek çaplı su çarkları gereksinimler, inşaat ve bakım açısından daha karmaşıktır. Bununla birlikte, nauraların yenilenmesi, yakıt veya elektrik kullanmadan sulama (emisyon azaltımı), kültürel mirasın değerlendirilmesi ve sosyal çekicilik gibi önemli sosyal, ekolojik ve ekonomik hizmetler sağlamaktadır (Heider vd., 2022). Nauralar ve su değirmenlerinin yüksek kültürel ve tarihi değeri düşünüldüğünde nauraların potansiyellerini keşfetmek, sadece geçmişi daha iyi anlamak için değil, aynı zamanda dünya çapında tarım, turizm ve kırsal toplulukların geleceği için yenilikçi sürdürülebilir stratejiler tanımlamak için de temel görünmektedir (Quaranta & Revelli, 2018).

Hatay ili Antakya ilçesinde yer alan Alvân su kemerinin bozunmasına neden olan en önemli faktör; tarımsal faaliyetlerin yer değiştirmesine yol açan kentleşme ve altyapıların genişlemesi, öyle ki eskiden tarım terasları olan yerlerde bulunan nauralar artık orijinal bağlamlarından kopmuştur. Ayrıca, su kemeri enkazı üzerinde geçmiş depremlerin izleri bulunmaktadır. Bu su kemeri enkazlarının geçmiş depremler nedeniyle yıkıldığı ve hasar gördüğü düşünülmektedir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi öncesinde yapılan çalışmada Alvan Su Kemerinin, yüksek seviyedeki dış etkiler nedeniyle farklı bozunma türlerine maruz kaldığı, yapıdaki en belirgin bozunma türlerinin özellikle sıcak-kuru iklimde sıklıkla gözlenen petekgözlülük, çatlak, derz boşalması ve malzeme kaybı gibi fiziksel bozunmalara uğradığı, kimyasal bozunmalardan renk değişimi ve kararma ile biyolojik etkilerin sebep olduğu hayvan yuvaları ve bitki oluşumu olduğu tespit edilmiştir.

Geliştirilecek projelerin sınırları içerisinde, uygun özelliklerde, güçlendirme ve sürekli bakımla, ayrıca korunaklı, düzenli bir çevre planı projesi çerçevesinde, kapsamlı hasar tespitlerinin yapılması, fiziki ve görsel güvenlik önlemlerinin alınması, bu kültürel varlıkların daha iyi koşullarda korunması ve gelecek nesillere aktarılması yolunda atılacak doğru ilk adımlar olacaktır. Günümüz koşullarında su kemerlerini orijinal rollerinde kullanmak mümkün olmadığından, konservatif bir anlayışla geliştirilecek yöntemlerle geleceğe taşınması gerekmektedir. Akdeniz bölgesinde, gelecekteki ısınmanın küresel ısınma oranlarını %25 oranında aşması, aşırı yaz sıcaklıkları ve yağışların azalması beklenmektedir. Aynı zamanda, Akdeniz tarımı artan sulama ve enerji kullanımı ile yoğunlaşmakta ve bu bağlamda su kaynakları, biyoçeşitlilik, iklim ve peyzaj işleyişi üzerinde istenmeyen etkiler yaratmaktadır (Heider vd., 2022). Taşta meydana gelen birçok hasar türünü anlamak, taş mimari anıtlar için en iyi koruma ve restorasyon yöntemlerini belirlemek için gereklidir.

Sonuç olarak, tarihi ve kültürel bir miras olarak günümüze ulaşan taş eserler, atmosferik etkilere açık oldukları sürece doğal taş yapı malzemelerinde meydana gelen bozunmaların olumsuz etkileriyle karşı karşıya kalmaktadır. Atmosferik etkilerin yanı sıra insan eylemlerinin sonuçlarından da etkilenen yapılar için, yapı malzemelerinin teknik özelliklerine ve bozunma türüne göre seçilen uygun uygulamaların doğru zamanda yapılmaması yıkımı kaçınılmaz kılmaktadır. Önleyici ve onarıcı adımlar için yapının kaybına yol açacak hasarların önceden tespit edilmesi büyük önem taşır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP)

TÜRKİYE tarafından "21.D.027" numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Mevcut çalışmanın geliştirilmesine katkıda bulunan BAP'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ağan, A., & Değirmenci, F.N. (2021).** Balıkesir kent dokusundaki tarihi yapılarda görülen bozulmalar ve yapıların koruma sorunları. *Online Journal of Art and Design*, 9(3), 35-45.
- Basu, S., Orr, S. A., & Aktas, Y.D. (2020).** A Geological Perspective on Climate Change and Building Stone Deterioration in London: Implications for Urban Stone-Built Heritage Research and Management. *Atmosphere*, 11(8), 788,1-29. <https://doi.org/10.3390/atmos11080788>
- Caneva, G., Nugari, M. P., & Salvadori, O. (1991).** *Biology in the Conservation of Works of Art*. Giulia Caneva, Maria Pia Nugari, Ornella Salvadori and ICCROM - International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property Via di San Michele 13 1-00153, Rome RM, Ital. Roma, Printed in Italy, 182p.
- Çetin, C., (2014).** *Taş Malzeme Bilgisi ve Bozulmaları Ders Notu*. Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, Ankara, Türkiye, 1-12ss.
- Dal M., & Öcal A., (2013).** Limestone in Islamic Religious Architecture: Istanbul and Turkish Thrace. *METU JFA*, 30(1) 29-44, DOI: [10.4305/METU.JFA.2013.1.2](https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2013.1.2)
- De Miranda, A. (2004).** Aesthetic tradition and ancient technology: a case study of the water-wheel. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Design and Nature II, Edited By: M.W. Collins, London South Bank University, UK and C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK. WIT Press, www.witpress.com, ISBN 1-85312-721-3. Vol. 73. 105-114p. DOI: [10.2495/DN040111](https://doi.org/10.2495/DN040111)
- Ergin, Ş., Gökdemir, B., Yardımlı, S., & Dal, M. (2022).** Deterioration on the Stone Surfaces of the Diyarbakır Nebi Mosque. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 27, 1-32.
- Gürel, Ş. S., & Dereli, M. (2023).** Damage Types and Repair Techniques in Seljuk Period Stone Architectural Monuments: Konya Alaaddin Mosque. *Selçuklu Medeniyeti Araştırmaları Dergisi*, 8, 1-21.
- Fitzner, B. (2004).** *Documentation and Evaluation of Stone Damage on Monuments*. In Kwiatkowski, D. & Löfvendahl, R. (ed.): *Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 27 June-2 July 2004, Stockholm, Vol. II, 677-690, ICOMOS, Sweden.
- Hasbay, U. & Hattap, S. (2017).** "Doğal Taşlardaki Bozunma (Ayrışma) Türleri ve Nedenleri". *Bilim Ve Gençlik Dergisi* 5(1), 23-45.

- Hatir, M. E., Barstuğan, M., & İnce, İ. (2020).** Deep learning-based weathering type recognition in historical stone monuments. *Journal of Cultural Heritage*, **45**, 193-203.
- Heider, K., Quaranta, E., Avilés, J. M. G., Lopez, J. M. R., Balbo, A. L., & Scheffran, J. (2022).** Reinventing the Wheel-The preservation and potential of traditional water wheels in the terraced irrigated landscapes of the Ricote Valley, southeast Spain. *Agricultural Water Management*, **259**, 107240.
- Kar, B. Ç., Dereli, M., & Yıldız, E. (2024).** Anıtsal Taş Yapılarda Meydana Gelen Bozulmalar: Afyonkarahisar Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Cami Örneği. *PLANARCH-Design and Planning Research*, **8**(1), 113-126.
- Kara, H.G. (2009).** *Tarihi Yiğma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı Ve Güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 168s.
- Korkanç, M. (2013).** Deterioration of different stones used in historical buildings within Niğde province, Cappadocia. *Construction and Building Materials*, **48**, 789-803. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2013.07.033](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.033)
- Korkanç, M. (2020).** Ak Medresenin (Niğde) Yapımında Kullanılan Taşların Mühendislik Özellikleri Ve Sorunları. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **9**(2), 975-989.
- Küçükaya, G. (2004).** *Taşların bozulma nedenleri koruma yöntemleri*, Birsan Yayınevi.
- Ocak, S.G. (2009).** *Batı Anadolu Roma Dönemi örnekleriyle su kemerleri, künkleri ve sarnıçları üzerine bir araştırma ve uygulama çalışması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir, Türkiye, 73s.
- Öcal, A.D., & Dal, M. (2012).** *Doğal Taşlardaki Bozunmalar*. İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.
- Özbay, E. (2012).** Antakya'nın Tarihi Su Dolapları "Naura" lara Işık Tutan 'Alvân Su Kemer Kalıntısının Mimarî-Tarihî Analizi ve Restitüsyonu. *Sanat Tarihi Dergisi*, **21**(2), 73-98.
- Quaranta, E., 2018.** Stream water wheels as renewable energy supply in flowing water: theoretical considerations, performance assessment and design recommendations. *Energy Sustain. Dev.*, **45**, 96-109.
- Tekin, M. (2004).** "Tarihte Antakya Depremleri", VI. *Hatay Tarih ve Kültür Sempozyumu (19-20 Nisan 2002, Antakya) Bildirileri*, Antakya, 205-224s.
- Unković, N., Nikolić, E., Ljaljević-Grbić, M., & Jovičić, M. (2023).** Preserving the Danube Limes in Serbia: A review of the biodeterioration of Trajan's Bridge. *Starinar*, **73**, 143-160.
- Vergès-Belmin, V., (EDS.), (2008).** Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns = Glossaire Illustré Sur Les Formes D'altération De La Pierre. Monuments and Sites XV. France: ICOMOS, 1-78pp.
- Yannopoulos, S., Lyberatos, G., Theodossiou, N., Li, W., Valipour, M., Tamburrino, A., & Angelakis, A., 2015.** Evolution of water lifting devices (pumps) over the centuries worldwide. *Water* **7**, 5031-5060.
- Yıldırım, N. (2007).** *Kireçtaşlarında Tuzların Yıkıcı Etkilerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 138s.



Oreochromis niloticus'un Türkiye'deki Potansiyel Dağılım Alanlarının Belirlenmesi: Ekolojik Niş Modellemesi Yaklaşımı

Oğuzcan MOL^{1*} Özgür EMİROĞLU²

^{1*}Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Geliş Tarihi: 04.06.2025

Kabul Tarihi: 10.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atf yapmak için: Mol, O., & Emiroğlu, Ö. (2025). *Oreochromis niloticus*'un Türkiye'deki Potansiyel Dağılım Alanlarının Belirlenmesi: Ekolojik Niş Modellemesi Yaklaşımı. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 485-492. <https://doi.org/10.35229/jaes.1713798>

How to cite: Mol, O., & Emiroğlu, Ö. (2025). Determination of Potential Distribution Areas of *Oreochromis niloticus* in Turkey: Ecological Niche Modeling Approach. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 485-492. <https://doi.org/10.35229/jaes.1713798>

*<https://orcid.org/0009-0004-9922-6145>

<https://orcid.org/0000-0002-4433-4286>

*Sorumlu yazar:

Oğuzcan MOL
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü,
Eskişehir, Türkiye
✉: oguzcanmol@gmail.com

Öz: *Oreochromis niloticus* (Nil Tilapyası), dünya genelinde yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan bir türdür. Nil tilapyası akuakültür tesislerinden doğal ortamlara kaçış sonrası bu yeni alanlara kolay uyum sağlayabilmektedir. Tilapyanın uyum sağlayabileceği yeni alanların bilinmesi akuakültür yönetiminde önemlidir. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin türün habitat değişimlerine olası tepkilerini belirlemek amacıyla hidroloji, fizyografi, antropojenik, toprak, hidroklimatik ve biyoklimatik veriler kullanılarak türün Türkiye'deki güncel ve gelecek uygun habitatları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, *O. niloticus*'un yıllık ortalama sıcaklık (BIO1) %31.7, gerçek buharlaşma (aet_mm) %20.5 ve en kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO9)'un %15 türün dağılımında etkili çevresel ve biyoklimatik değişkenler olduğu görülmüştür. Geleceğe yönelik projeksiyonlar ise türün sıcaklık artışıyla birlikte daha geniş alanlara yayılabileceğini göstermektedir. Bu durum türün dağılım alanlarını genişleterek yeni istila alanları oluşturabileceği bu sebeple akuakültür yapılırken daha dikkatli üretim yapılması önem arz ettiğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: *Oreochromis niloticus*, Tür dağılım modelleri (SDM'ler), maxent, iklim değişikliği.

Determination of Potential Distribution Areas of *Oreochromis niloticus* in Turkey: Ecological Niche Modeling Approach

Abstract: *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) is a globally cultivated aquaculture species capable of readily adapting to natural environments following escapes from aquaculture facilities. Identifying suitable habitats for this species is critical for effective aquaculture management. This study employed hydrological, physiographic, anthropogenic, soil, hydroclimatic, and bioclimatic data to determine the current and future suitable habitats of *O. niloticus* in Turkey, aiming to assess its potential responses to climate change-induced habitat shifts. The results indicate that annual mean temperature (BIO1, 31.7%), actual evapotranspiration (aet_mm, 20.5%), and mean temperature of the driest quarter (BIO9, 15%) are key environmental and bioclimatic variables influencing the species' distribution. Future projections suggest that rising temperatures may facilitate the species' expansion into broader areas, potentially leading to the establishment of new invasive populations. Consequently, stringent management practices in aquaculture are essential to mitigate ecological risks.

*Corresponding author's:

Oğuzcan MOL
Eskişehir Osmangazi University, Graduate
School of Natural and Applied Science,
Department of Biology, Eskişehir, Türkiye.
✉: oguzcanmol@gmail.com

Keywords: *Oreochromis niloticus*, Species distribution models (SDMs), MaxEnt, Climate change

GİRİŞ

Küresel gıda talebine bağlı olarak su ürünleri üretimi son yıllarda önemli ölçüde artmış; 1980'lerde balık tedarikinin %6.5'i akuakültürden, %93.5'i avcılıktan sağlanırken, günümüzde akuakültür %48, avcılık ise %52 oranına ulaşmıştır (FAO, 2019). Artan gıda talebi, yeni balık türlerinin akuakültürde kullanılmasına yol açmış; bu kapsamda, yüksek ekolojik tolerans ve hızlı büyüme özelliklerine sahip türler dünyanın çeşitli bölgelerine taşınarak yetiştiriciliğe başlanmıştır (William vd., 2004).

Günümüze kadar yaklaşık 624 balık türü, doğal dağılım alanlarının ötesine taşınmış olup (Gozlan, 2008). Avrupa Birliği bu türleri doğal veya potansiyel habitatları dışında bulunan sucül türler ile genetik olarak değiştirilmiş organizmalar olarak tanımlamıştır (The Council of the European Union, 2007). İnsan faaliyetleri, özellikle akuakültür, balıklandırma, genetik manipülasyon, biyokontrol, biyomanipülasyon ve akvaryum ticareti, bu türlerin yayılmasında önemli rol oynamaktadır (Copp vd., 2005). Ancak, taşınan bu türler, yerel ekosistemlerde besin rekabeti, av baskısı, hibritleşme ve hastalık yayılımı gibi

[¹] Bu makale, Oğuzcan MOL doktora tezinden üretilmiştir.

This manuscript was produced from Oğuzcan MOL's doctoral thesis.

yollarla biyoçeşitliliği tehdit edebilmektedir (Emiroğlu vd., 2023; Tarkan vd., 2023; Aksu vd., 2021; Vitule vd., 2009). Bu nedenle, akuakültürün faydaları ile yerel ekosistemlerin korunması arasında bir denge kurulması önemlidir.

Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758), Nil Nehri havzası, Batı ve Doğu Afrika ile Güneybatı Orta Doğu'ya özgü bir tür olup, Afrika tatlı su balıkları arasında geniş doğal dağılıma sahiptir (Stauffer vd., 2022; Bezault vd., 2011). Hızlı büyümesi, çevresel uyumu ve omnivor beslenmesiyle akuakültürde değerli olan bu tür, Asya, Avrupa ve Amerika'ya yayılarak genellikle tesislerden kaçış yoluyla doğal ekosistemlere girmiştir (Canonico vd., 2005; Ighwela vd., 2011; Emiroğlu, 2011). Nil tilapyası Türkiye'de akuakültür, balıklandırma ve araştırma amaçlı yerel ihtiyofaunaya entegre olmuştur (Çiçek, 2021; Çiçek vd., 2022). Ası Nehri, Köyceğiz Gölü, Sakarya Nehri Havzası, Pınarbaşı Deresi (Burdur), Damsa Baraj Gölü'nde bulunduğu bildirilmiştir (Arslan vd., 2021). Su kalitesinde değişiklikler, habitat tahribatı, trofik kademeler ve ekosistem işlevlerinde değişikliklere neden olma kapasitesi nedeniyle *O. niloticus* küresel çapta en başarılı ve zararlı istilacı balık türleri arasında yer almaktadır (Esmaceli ve Eslami Barzoki, 2023; Shuai ve Li, 2022; Stauffer vd., 2022). Yerli türlerle besin ve alan rekabeti ile biyoçeşitliliği tehdit eden bu tür, iklim değişikliğinin sıcaklık artışlarıyla daha geniş alanlara yayılabilir, istilacı potansiyelini artırarak ekolojik riskleri derinleştirebilir (Zengeya vd., 2013; Rahel ve Olden, 2008). İstilacı türlerin giderek artan popülasyonları ve genişleyen dağılım alanları, biyoçeşitlilik ve ekosistem fonksiyonları üzerinde yarattıkları etkiler nedeniyle, yönetim stratejileri ve kontrol mekanizmaları konusunda önemli kaygılar doğurmaktadır (Barbet-Massin vd., 2018). Bu nedenle küresel istilacı türlerin içerisinde ve ülkemiz ihtiyofaunasında yer alan *O. niloticus*'un güncel ve gelecekteki potansiyel habitatlarının belirlenmesi önemlidir.

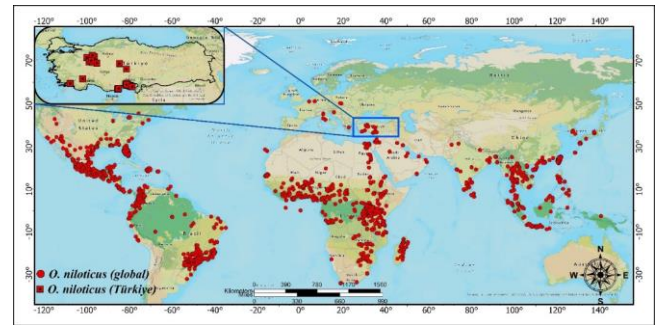
Tür dağılım modelleri (SDM), türlerin çevresel faktörlerle ilişkisini analiz ederek habitat uygunluğunu ve potansiyel yayılım alanlarını tahmin eden etkili bir yöntemdir (Guisan vd., 2017). Bu modeller, özellikle iklim değişikliği gibi çevresel değişikliklerin türlerin dağılımına olan etkilerini değerlendirmede önemli bir rol oynamaktadır (Aksu vd., 2021; Aksu 2021). SDM'ler, türlerin yaşam alanlarındaki azalmaları ve artmaları modelleyerek potansiyel yok oluş risklerini veya potansiyel istila risklerini tahmin etmekte kullanılmakta olup, bu tahminler koruma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Zurell ve Fritz, 2023; Emiroğlu vd., 2023; Aksu, 2020; Aksu, 2021). İnsan faaliyetleri, nüfus artışı, kentsel genişleme ve arazi kullanım değişiklikleri gibi faktörler tür dağılımlarını doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Bu nedenle, biyoklimatik değişkenlerin yanında çevresel değişkenlerinde SDM'lere entegrasyonu, modellerin güvenilirliğini artırarak koruma ve sürdürülebilirlik politikalarına daha kapsamlı bir

bakış açısı sunmaktadır (Haubrock vd., 2024; Aksu vd., 2024).

Bu çalışma, SDM'ler kullanarak *O. niloticus*'un Türkiye'deki güncel ve gelecekteki potansiyel habitatlarını, dağılımında etkili çevresel faktörleri ve istilacı tür yönetiminde sürdürülebilir yaklaşımlar için katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Tür varlık verileri: *O. niloticus*'un varlık kayıtları, saha gözlemleri, Global Biodiversity Information Facility (GBIF) veri tabanı ve literatürden (Emiroğlu vd., 2018; Çiçek, 2021; Aksu vd., 2018; Aksu vd., 2021; Arslan vd., 2021) derlenmiştir (Şekil 1). Veri kalitesini artırmak için çakışan kayıtlar ve düşük konumsal doğruluklu veriler silinmiştir. Türün hem doğal hem de taşındığı bölgelerden elde edilen varlık verileri kullanılmıştır. Bu yaklaşım, istilacı türlerin yayılımını daha doğru tahmin etmeye olanak tanır (Zengeya vd., 2013). Türün hem doğal hem de taşındığı bölgelerden elde edilen varlık verileri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. *O. niloticus* varlık verileri ve çalışma alanı.

Figure 1. *O. niloticus* presence data and study area.

Çevresel değişkenler: Çalışmada iki ayrı model uygulanmıştır. Birinci model güncel ve gelecek habitat uygunluklarını belirleyen biyoklimatik model, ikincisi hidroklimatik modeldir. Biyoklimatik veriler (BIO1-19) 2.5 arc dakika (~4.6 km ekvator yakınında) çözünürlükte WorldClim 2.1 veri tabanından (Fick ve Hijmans, 2017) elde edilmiştir. Hidroloji, fizyografi, antropojenik ve toprak verileri HYDROATLAS verilerinden (Linke vd., 2019; Lehner vd., 2022) katman haline getirilmiştir. Tüm çevresel değişkenlerin hazırlanmasında Arcgis Pro 3.4 (Esri, 2024) kullanılmıştır.

Gelecek iklim senaryoları: Gelecekteki iklim projeksiyonları, WorldClim'in CMIP6 küresel iklim modellerinden (WorldClim CMIP6) indirgenmiş verileriyle oluşturulmuştur (Eyring vd., 2016). Düşük ve yüksek sera gazı emisyon senaryolarını temsil eden Paylaşılmış Sosyo-Ekonomik Yollar (SSPs) 126 (iyimser) ve 585 (kötümser), 2050 (2041-2060) ve 2100 (2081-2100) yılları için seçilmiştir (Riahi vd., 2017). Kullanılan modeller seçilirken

Türkiye için en uygun GCM modelleri olan HadGEM3-GC31-MM, GFDL-ESM4 ve MPI-ESM1-2-HR (Akçakaya vd., 2015) seçilerek bütünlük model oluşturulmuştur.

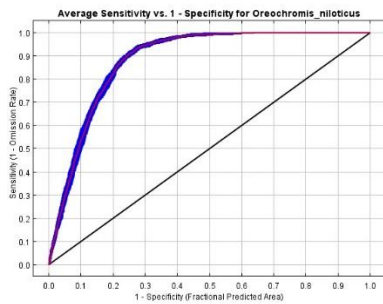
Korelasyon analizi: Modelde çoklu doğrusallığı ve aşırı uyumu önlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış, katsayı değeri ≥ 0.9 olan değişkenler çıkarılmış, geri kalan değişkenler Variance Inflation Factor (VIF) analizi yapılarak VIF değeri > 10 olanlar modelden çıkarılmış olup (Naimi, 2017), geri kalan çevresel değişkenler modelde kullanılmıştır (Tablo 1, Tablo 2). Bu işlemler, modelin tahmin doğruluğunu artırır ve yanlış yorumlamaları azaltır (Hamzaoui vd., 2023). Korelasyon ve VIF analizleri R Cran versiyon 4.4.2'de 'usdm' paketi kullanılarak yapılmıştır (Naimi vd., 2014).

Tablo 1. Biyoklimatik modelde kullanılan değişkenler.

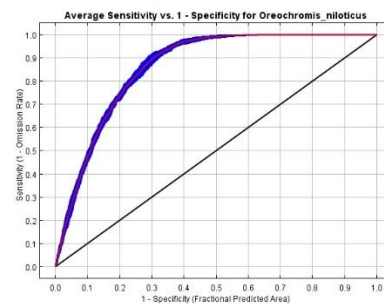
Table 1. Variables used in the bioclimatic model.

Değişken	Açıklama
Bio_1	Yıllık Ortalama Sıcaklık
Bio_2	Günlük sıcaklık değişiminin aylık ortalaması (günlük maksimum sıcaklık/minimum sıcaklık)
Bio_3	İzotermalite (ikinci değişken/yedinci değişken) * 100)
Bio_5	En Sıcak Ayın Maksimum Sıcaklığı
Bio_8	En Yağışlı Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı
Bio_9	En Kurak Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı
Bio_12	Yıllık Yağış Miktarı
Bio_13	En Yağışlı Ayın Yağış Miktarı
Bio_14	En Kurak Ayın Yağış Miktarı
Bio_15	Yağış Mevsimselliği (Değişim Katsayısı)
Bio_18	En Sıcak Çeyreğin Yağış Miktarı
Bio_19	En Soğuk Çeyreğin Yağış Miktarı

Tür dağılım modellemesi, Maksimum Entropi (MaxEnt) 3.4.4 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Phillips vd., 2023). Model ayarlarında, maksimum arka plan noktası sayısı 10000, çoğaltılmış çalışma türü çapraz doğrulama (crossvalidate), maksimum yineleme 500, eşik kuralı olarak yüzde 10 eğitim varlığı kullanılmış ve her iki modelde 10 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır.



A



B

Şekil 2. Hidroklimatik (A) ve Biyoklimatik (B) modellerin AUC değeri.

Figure 2. AUC value of Hydroclimatic (A) and Bioclimatic (B) models.

Hidroklimatik model değerlendirme sonucunda türün dağılımında etkili olan değişkenler sırasıyla BIO1 %31.7, aet_mm %20.5, ve BIO9 %15 olmuştur. Özellikle, BIO1 değişkeninin permütasyon önemi (%41.3) katkı oranına (%31.7) kıyasla oldukça yüksek bulunmuş, bu da modelin bu değişkene duyarlılığını vurgulamaktadır (Tablo 3). Bu sonuçlar BIO1, aet_mm ve BIO9'un *O. niloticus*'un habitat alanlarının belirleyici çevresel ve

Tablo 2. Hidroklimatik modelde kullanılan çevresel değişkenler.

Table 2. Environmental variables used in the hydroclimatic model.

Değişken	Açıklama	Değişken	Açıklama
Bio_1	Yıllık Ortalama Sıcaklık	clz_cl	İklim zonları
Bio_2	Günlük sıcaklık değişiminin aylık ortalaması	Ele	Yükseklik
Bio_3	İzotermalite	fmh_cl	Tatlı su ana habitat tipleri
Bio_5	En Sıcak Ayın Maksimum Sıcaklığı	kar_pc	Karstik alan kapsamı
Bio_8	En Yağışlı Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı	lit_cl	Litolojik sınıflar
Bio_9	En Kurak Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı	lka_pc	Göl alanı oranı
Bio_12	Yıllık Yağış Miktarı	lkv_mc	Göl hacmi
Bio_13	En Yağışlı Ayın Yağış Miktarı	pet_mm	Gerçek buharlaşma
Bio_14	En Kurak Ayın Yağış Miktarı	rev_mc	Baraj hacmi
Bio_15	Yağış Mevsimselliği (Değişim Katsayısı)	ria_ha	Nehir alanı
Bio_18	En Sıcak Çeyreğin Yağış Miktarı	riv_tc	Nehir hacmi
Bio_19	En Soğuk Çeyreğin Yağış Miktarı	run_mm	Kara yüzey akışı
aet_mm	Gerçek buharlaşma	sgr_dk	Akarsu eğimi
ari_ix	Küresel kuraklık endeksi	snd_pc	Topraktaki kum oranı
dis_m3	Doğal deşarj	wet_cl	Sulak alan sınıfları
dor_pc	Barajların akış düzenleme derecesi		

Model performansı, Alıcı İşletim Karakteristiği (ROC) eğrisi ve Eğri Altındaki Alan (AUC) istatistiği kullanılarak değerlendirilmiştir. AUC değerleri 0 ile 1 arasında değişir; burada 1, %100 doğruluk oranını gösterirken, ≤ 0.5 değerler modelin tahmin gücünün rastgele bir tahminden daha iyi olmadığını, 0.9'un üzerinde olduğunda model performansının mükemmel olduğunu ifade eder (Araújo vd., 2005 ; Alexandre da Silva vd., 2019; Marchessaux vd., 2021 ; Alqadhi vd., 2022). Çevresel değişkenlerin modeldeki katkısını belirlemek için Jackknife testi ve permütasyon önemleri uygulanmıştır.

BULGULAR

Çalışmada *O. niloticus* için yapılan hidroklimatik ve biyoklimatik modellerin model performansının çok iyi seviyede olduğu görülmüştür (A: Hidroklimatik model AUC 0.883, B: Biyoklimatik model 0.861, Şekil 2).

biyoklimatik değişkenler olduğunu göstermektedir (Tablo 3).

Tropikal ve subtropikal bir tür olan *O. niloticus*'un habitat uygunluğu, yıllık ortalama sıcaklık (BIO1) değerinin 20-28°C aralığında en yüksek düzeye ulaştığı saptanmıştır. Gerçek buharlaşma (Aet_mm) değerinin 1000-1500 mm aralığında habitat uygunluğunu artırdığı, ancak daha yüksek değerlerde uygunluğun

azaldığı belirlenmiştir. Bu durum türün su stresine karşı duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO9) değerinin 16-28°C aralığında habitat uygunluğunu desteklediği, daha yüksek sıcaklıklarda ise uygunluğun düştüğü gözlenmiştir. Bu, türün kurak dönem sıcaklıklarına karşı hassasiyetini yansıtmaktadır (Nivelle vd., 2019). İzotermalite (BIO3) değeri arttıkça sıcaklık değişimleri azalmaktadır. Bu da daha stabil iklimsel şartların oluşmasını sağlamaktadır. Çalışmamızda, BIO3 değerinin artmasıyla habitat uygunluğunun arttığı, sıcaklık değişimlerinin fazla olduğu yerlerde uygun habitatların oluşmadığı buda türün stabil sıcaklık koşullarına sahip bölgelere uyum sağladığını göstermektedir. En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO8) değerinin 10-28°C aralığında habitat uygunluğunu artırdığı, ancak daha yüksek sıcaklıklarda uygunluğun azaldığı saptanmıştır. Tatlı su ana habitat tipleri (Fmh_cl) değerine bakıldığında türün büyük göller, tropikal ve subtropikal kıyı nehirlerinde uygun habitatlar olduğu görülmüştür. Göl alanı oranı (Lka_pc) değerinin artmasıyla habitat uygunluğunun yükseldiği, ancak aşırı yüksek değerlerin tür dağılımını olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Göl hacmi (Lka_mc) değerinin artmasıyla habitat uygunluğunun arttığı tespit edilmiştir. En yağışlı ayın yağış miktarı (BIO13) değerinin yükselmesiyle habitat uygunluğunun da arttığı saptanmıştır. Sulak alan sınıfları (Wet_cl) değerine bakıldığında türün barajlar ile kıyısız sulak alanlarda uygun habitatların olduğu bataklıkların ise uygun habitatlar olmadığı görülmüştür. Topraktaki kum oranı (Snd_pc) değerine bakıldığında türün hafif kumlu alanları tercih ettiği, snd_pc değerinin artışında ise habitat uygunluğunun olumsuz etkilendiği belirlenmiştir (Şekil 3). Türün habitat uygunluk modelinde Türkiye'nin sıcak sularının olduğu bölgeler (Özşahin ve Kaymaz, 2013), kıyı bölgeleri, sıcaklığın yüksek olduğu Akdeniz ve Ege kıyı bölgelerinin uygun habitatlar olduğu görülmüştür (Şekil 4).

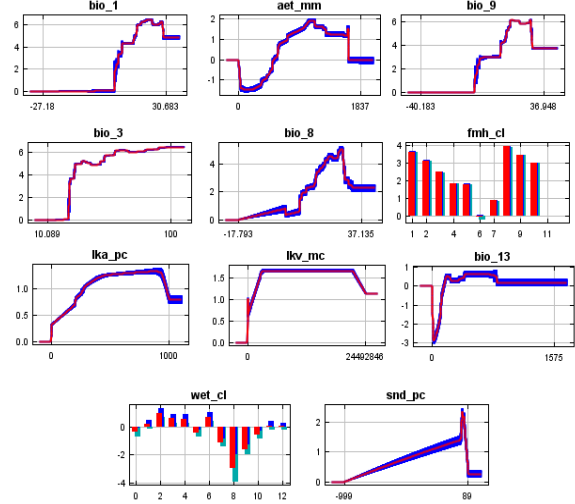
Tablo 3. Hidroklimatik modelde değişkenlerin katkısı.

Table 3. Contribution of variables in the hydroclimatic model.

Değişken	Permütasyon Katkısı (%)	Permütasyon Önemi (%)	Değişken	Permütasyon Katkısı (%)	Permütasyon Önemi (%)
Bio1	31.7	41.3	sgr_dk	0.5	0.3
Aet_mm	20.5	1.9	Bio18	0.4	0.7
Bio9	15	13.5	rev_mc	0.4	0.4
fmh_cl	5.3	4.7	kar_pc	0.4	1
lka_pc	4.6	2	Bio15	0.3	0.6
lkv_mc	4.6	0.8	pet_mm	0.2	1.3
Bio13	3.2	0.4	dor_pc	0.2	0.2
wet_cl	2.9	2.5	Bio14	0.2	0.4
snd_pc	2.3	5	Bio19	0.1	0.4
dis_m3	1.5	2.7	Bio2	0.1	0.5
clz_cl	1.4	0.4	run_mm	0.1	0.1
Bio3	1.3	9.3	Bio12	0.1	0.2
Bio8	1	6.3	ari_ix	0	0.1
ele	0.7	1.3	ria_ha	0	0.2
lit_cl	0.6	0.8	ria_tc	0	0
Bio5	0.5	0.8			

Biyoklimatik model değerlendirmesinde modele en çok etki eden değişkenler sırasıyla Yıllık ortalama sıcaklık (BIO1), En yağışlı ayın yağış miktarı (BIO13), En

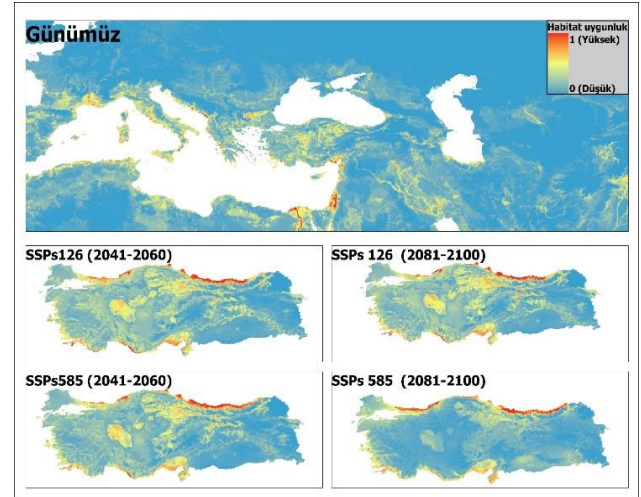
kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO9) ve Yıllık yağış (BIO12) olmuştur. Ayrıca permütasyon önemine bakıldığında İzotermalite (BIO3) ve En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO8) değerlerinin artışı türün uygun habitatlar kazandığını göstermektedir.



Şekil 3. Hidroklimatik modelde etkili değişkenler.

Figure 3. Contribution of variables in the hydroclimatic model.

O. niloticus'un gelecek senaryolarına göre türün 2050 ve 2100 yılı için iyimser (SSPs 126) ve kötümser (SSPs 585) senaryolarına göre uygun habitatların genişlediği, özellikle Karadeniz kıyı zonlarının gelecekte uygun habitatlar olacağı görülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. Biyoklimatik model.

Figure 4. Bioclimatic model.

TARTIŞMA VE SONUÇ

İklim değişikliği, küresel ölçekte olduğu gibi Türkiye'de de su kaynakları, biyoçeşitlilik ve ekosistem işleyişi üzerinde önemli tehditler oluşturmaktadır (Demir, 2009). Türkiye, subtropik iklim kuşağında yer alması nedeniyle bu değişikliklerden en çok etkilenecek

ülkelerden biri olarak kabul edilmektedir (Aktaş, 2014; Şen, 2022). Özellikle iç su ekosistemleri, sıcaklık artışları, buharlaşma miktarındaki yükselmeler ve yağış rejimindeki değişikliklerden dolayı yüksek düzeyde kırılganlık sergilemektedir (Giannetto ve İnnal, 2021).

Son yıllarda Türkiye'nin yarı kurak bölgelerinde göl alanlarında ciddi küçülmeler, sulak alanların kaybı ve suyun tuzlanması gibi ekosistem yıkımları rapor edilmiştir (Yılmaz vd., 2021). Bu ekosistemlerdeki biyoçeşitlilik, özellikle endemik tatlı su balık türleri açısından son derece zengin olmakla birlikte, ciddi oranda tehdit altındadır. Nitekim Türkiye'deki endemik tatlı su balık türlerinin %61'i tehdit altındadır (Giannetto ve İnnal, 2021). İklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık, tuzluluk ve pH seviyelerindeki artışlar ile kirliliğin birleşik etkileri, sucul ekosistemlerde su stresi baskısını artıracakı düşünülmektedir (Diken, 2020). İklim değişikliğine ek olarak, tarımsal sulama için su çekimi, kirlilik, baraj inşaatları ve istilacı türlerin etkisi birleşerek bu tehditleri derinleştirmektedir (Korkmaz vd., 2023).

Afrika nehir sistemlerinde gerçekleştirilen ekolojik niş modelleme çalışmaları, *O. niloticus*'un geniş iklimsel toleransı ve çevresel adaptasyon yeteneği sayesinde yüksek istilacılık potansiyeli taşıdığını, özellikle habitat örtüşmesi sonucu yerli türler üzerinde ciddi rekabet baskıları oluşturduğunu ve bu türün potansiyel dağılım alanları ile biyolojik çeşitlilik açısından kritik bölgelerle örtüşmesinin mevcut koruma planlarının etkinliğini tehdit edebileceğini göstermektedir (Zengeya vd., 2013).

Türkiye'nin sıcaklık profiline baktığımızda, Güney ve Batı kıyılarındaki ortalama sıcaklıkların halihazırda 20°C üzeri olduğu ve gelecekteki iklim senaryolarında daha da artacağı öngörülmektedir (Selek vd., 2018). Bu durum, *O. niloticus*'un özellikle Akdeniz, Ege ve Karadeniz bölgelerindeki baraj gölleri ve nehir sistemlerinde yerleşmesi ve hızla yayılması için uygun bir ortam sağlamaktadır. *O. niloticus*'un iklim değişikliğine bağlı olarak daha kuzey bölgelere doğru yayılma potansiyeline sahip olduğu, artan sıcaklıkların kurak bölgelerde bile yaşam alanları bulduğu, ancak aynı zamanda yerel türler üzerinde baskı oluşturduğu rapor edilmiştir. (Esmaeili ve Barzoki, 2023).

Türkiye, yüksek endemizm oranına sahip bir iç su faunasına sahip olup özellikle İç Anadolu, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde, sadece Türkiye'ye özgü çok sayıda tatlı su balığı bulunmaktadır (Giannetto ve İnnal, 2021). Bu türlerin çoğu düşük termal toleransa sahiptir ve *O. niloticus* gibi geniş toleranslı türlerle rekabet edemez. *O. niloticus* yayılması durumunda bu türlerin hızla yer değiştirmesi veya popülasyonlarının çökmesi mümkündür.

Model değerlendirmesinde, yıllık ortalama sıcaklık (BIO1), gerçek buharlaşma (aet_mm) ve en kurak çeyrek sıcaklığı (BIO9) gibi değişkenlerin *O. niloticus*'un

dağılımında belirleyici rol oynadığı ortaya konulmuştur. Sonuçlar, türün ılıman-sıcak su koşullarında en iyi gelişimi sergilediğini desteklemektedir (Komba vd., 2020). Bu durum, sıcaklık artışlarının istilacı türlerin yayılım potansiyelini Türkiye'de artıracakını göstermektedir. Türkiye'nin güney ve batı kıyılarındaki sıcaklıkların halihazırda 20°C'yi aşması ve gelecekte daha da artacağının öngörülmesi (Selek vd., 2018), modelde BIO1'in yüksek önem derecesine sahip olmasıyla örtüşmektedir. Artan sıcaklıkların neden olduğu yüksek buharlaşma oranları, Türkiye'de bazı bölgelerde *O. niloticus* için optimum habitat koşulları sunabilecek daha elverişli ortamlar yaratabilir. Ancak bu aynı zamanda su stresi altındaki endemik türler için yaşam alanı kaybı anlamına da gelmektedir (Korkmaz vd., 2023). Dolayısıyla iklim değişikliğinin istilacı türlerin dağılımına olumlu yerel türlerin dağılımına olumsuz etki edeceği ortaya çıkmaktadır. BIO3 (izotermalite) iklimsel stabiliteye işaret eder. BIO3'teki artışın sıcaklık değişkenliğini azaltması, daha stabil termal koşullar oluşturmada ve bu durum *O. niloticus* için elverişli bir ortam yaratmaktadır (Vythalingam vd., 2022). Buna ek olarak, göl hacmi, toprak kum oranı gibi edafik ve çevresel faktörlerin türün yerleşme başarısında etkili olması, barajlar ve habitat değişiklikleriyle birleştiğinde, türün yayılımının insan kaynaklı baskılarla da desteklendiğini göstermektedir.

Geleceğe yönelik senaryolarda, özellikle 2050 ve 2100 yılına kadar olan iyimser ve 2050 kötümser iklim senaryolarına göre *O. niloticus*'un habitat alanının genişleyebileceği öngörülmektedir (Şekil 4.). Bu, sıcaklık artışlarının türün termal tolerans aralığını desteklemesiyle, bugüne kadar uygun olmayan iç bölgelerde bile dağılım potansiyelinin ortaya çıkacağı anlamına gelmektedir. 2100 yılına kadar olan kötümser senaryoda ise türün iç bölgelerden daha çok kuzey enlemlerdeki kıyı alanlarında habitat kazandığını göstermektedir. Bu durum türün sıcaklık artışına bağlı olarak kuzey bölgelere doğru yayılma potansiyeline sahip olduğunu doğrulamaktadır (Esmaeili ve Eslami Barzoki, 2023).

Sonuç olarak, *O. niloticus*'un habitat uygunluğu büyük ölçüde sıcaklık, yağış ve iklim stabiliteye bağlıdır. Önümüzdeki yıllarda, özellikle kötümser iklim senaryolarına göre, türün daha önce uygun olmayan bölgelerde de kalıcı hale gelmesi ve yerli türleri tehdit etmesi olasıdır. Bu durum, Türkiye'nin iç su ekosistemlerinde izleme, erken uyarı ve biyolojik kontrol sistemlerinin güçlendirilmesini gerektirmektedir. Bu bulgular, hem mevcut habitat yönetimi hem de istilacı tür risk değerlendirmeleri için kritik önemdedir. Ayrıca iklim değişikliğinin türün yayılımı üzerindeki potansiyel etkisi, sucul ekosistemlerdeki biyolojik çeşitlilik yönetimi açısından dikkatle ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., & Çukurçayır, F. (2015) Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, Ankara, 149s. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-degisikligi-projeksiyon2015.pdf> Erişim tarihi: 11.12.2024.
- Aksu, S., Başkurt, S., Çiçek, A., & Emiroğlu, Ö. (2018). Seydisuyu Balık Faunasının Belirlenmesi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, **11**(1), 42-46.
- Aksu, S. (2020). Possible effects of climate change on the habitats of the trout species: predicting the current and future distribution of anatolian sea trout (*Salmo coruhensis* Turan, Kottelat & Engin, 2010) under climate change, using the maxent model. *Fresenius Environmental Bulletin*, **29**(10), 9031-9042.
- Aksu, S. (2021). Current and future potential habitat suitability prediction of an endemic freshwater fish species *Seminemacheilus lendlii* (Hankó, 1925) using Maximum Entropy Modelling (MaxEnt) under climate change scenarios: implications for conservation. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, **7**(1), 83-91. DOI: [10.17216/limnofish.758649](https://doi.org/10.17216/limnofish.758649)
- Aksu, S., Başkurt, S., Emiroğlu, Ö., & Tarkan, A. S. (2021). Establishment and range expansion of non-native fish species facilitated by hot springs: the case study from the Upper Sakarya Basin (NW, Turkey). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, **50**(3), 247-258. DOI: [10.2478/oandhs-2021-0021](https://doi.org/10.2478/oandhs-2021-0021)
- Aksu, S., Mercan, D., Arslan, N., Emiroğlu, Ö., Haubrock, P. J., Soto, I., & Tarkan, A. S. (2024). Determining environmental drivers of global mud snail invasions using climate and hydroclimate models. *Hydrobiologia*, **851**(16), 3991-4006. DOI: [10.1007/s10750-024-05554-x](https://doi.org/10.1007/s10750-024-05554-x)
- Aktaş, Ö. (2014). Impacts of climate change on water resources in Turkey. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, **13**(4). DOI: [10.30638/eemj.2014.092](https://doi.org/10.30638/eemj.2014.092)
- Alexandre da Silva, M.V., Nunes Souza, J.V., de Souza, J.R.B., & Vieira, L.M. (2019). Modelling species distributions to predict areas at risk of invasion by the exotic aquatic New Zealand mudsnail *Potamopyrgus antipodarum* (Gray, 1843). *Freshwater Biology*, **64**(8), 1504-1518. DOI: [10.1111/fwb.13323](https://doi.org/10.1111/fwb.13323)
- Alqadhi, S., Mallick, J., Talukdar, S., Ahmed, M., Khan, R.A., Sarkar, S.K., & Rahman, A. (2022). Assessing the effect of future landslide on ecosystem services in Aqabat Al-Sulbat region, Saudi Arabia. *Natural Hazards*, **113**(1), 641-671. DOI: [10.1007/s11069-022-05318-7](https://doi.org/10.1007/s11069-022-05318-7)
- Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W., & Erhard, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, **11**(9), 1504-1513. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x)
- Arslan, P., İnnal, D., & Özeren, S.C. (2021). Notes on the Distribution of the Genus *Oreochromis* in the East Mediterranean Region of Turkey. *Commagene Journal of Biology*, **5**(1), 18-23. DOI: [10.31594/commagene.824644](https://doi.org/10.31594/commagene.824644)
- Barbet-Massin, M., Rome, Q., Villemant, C., & Courchamp, F. (2018). Can species distribution models really predict the expansion of invasive species?. *PloS one*, **13**(3), e0193085. DOI: [10.1371/journal.pone.0193085](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193085)
- Bezaul, E., Balaesque, P., Toguyeni, A., Fermon, Y., Araki, H., Baroiller, J.F., & Rognon, X. (2011). Spatial and temporal variation in population genetic structure of wild Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) across Africa. *BMC genetics*, **12**, 1-16. DOI: [10.1186/1471-2156-12-102](https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-102)
- Canonico, G.C., Arthington, A., McCrary, J.K., & Thieme, M.L. (2005). The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **15**(5), 463-483. DOI: [10.1002/aqc.699](https://doi.org/10.1002/aqc.699)
- Copp, G.H., Bianco, P.G., Bogutskaya, N.G., Erős, T., Falka, I., Ferreira, M.T.M., Fox, G., Freyhof, J., Gozlan, R.E., Grabowska, J., Kováč, V., Moreno-Amich, R., Naseka, A.M., Peñáz, M., Povž, M., Przybylski, M., Robillard, M., Russell, I.C., Stakėnas, S., Sümer, S., Vila-Gispert, A., & Wiesner, C. (2005). To be, or not to be, a non-native freshwater fish?. *Journal of Applied Ichthyology*, **21**(4), 242-262. DOI: [10.1111/j.1439-0426.2005.00690.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2005.00690.x)
- Çiçek, E. (2021). Türkiye'deki egzotik tilapya türlerinin mevcut durumu. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **38**(1), 111-116. DOI: [10.12714/egejfas.38.1.14](https://doi.org/10.12714/egejfas.38.1.14)
- Çiçek, E., Eagderi, S., & Sungur, S. (2022). A review of the alien fishes of Turkish inland waters. *Turkish Journal of Zoology*, **46**(1), 1-13. DOI: [10.3906/zoo-2109-13](https://doi.org/10.3906/zoo-2109-13)
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **1**(2), 37-54. DOI: [10.1501/Csaum_0000000013](https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000013)
- Diken, G. (2020). Antropojenik iklim değişikliğinin balıkçılık ve su ürünleri üzerine etki ve yönetim stratejilerine genel bir bakış. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **5**(3), 295-303. DOI: [10.35229/jaes.718925](https://doi.org/10.35229/jaes.718925)
- Emiroğlu, Ö. (2011). Alien fish species in upper Sakarya River and their distribution. *African Journal of Biotechnology*, **10**(73), 16674-16681. DOI: [10.5897/AJB11.2502](https://doi.org/10.5897/AJB11.2502)
- Emiroğlu, Ö., Başkurt, S., Aksu, S., Giannetto, D., & Tarkan, A.S. (2018). Standard weight equations

- of two sub-/tropic nonnative freshwater fish, *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus*, in the Sakarya River Basin (NW Turkey). *Turkish Journal of Zoology*, **42**(6), 694-699. DOI: [10.3906/zoo-1802-36](https://doi.org/10.3906/zoo-1802-36)
- Emiroğlu, Ö., Aksu, S., Başkurt, S., Britton, J.R., & Tarkan, A.S. (2023).** Predicting how climate change and globally invasive piscivorous fishes will interact to threaten populations of endemic fishes in a freshwater biodiversity hotspot. *Biological Invasions*, **25**(6), 1907-1920. DOI: [10.1007/s10530-023-03016-4](https://doi.org/10.1007/s10530-023-03016-4)
- Esmaeili, H.R., & Eslami Barzoki, Z. (2023).** Climate change may impact Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) distribution in the Southeastern Arabian Peninsula through range contraction under various climate scenarios. *Fishes*, **8**(10), 481. DOI: [10.3390/fishes8100481](https://doi.org/10.3390/fishes8100481)
- Esri. (2024).** ArcGIS Pro (Version 3.4) [Computer software]. Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., & Taylor, K.E. (2016).** Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, **9**(5), 1937-1958. DOI: [10.5194/gmd-9-1937-2016](https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016)
- FAO. (2019).** FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Erişim Tarihi: 26 Aralık 2024, https://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2019_USBcard/navigation/index_intro_e.htm
- Fick, S.E., & Hijmans, R. J. (2017).** WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, **37**(12), 4302-4315. DOI: [10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086)
- Giannetto, D., & Innal, D. (2021).** Status of endemic freshwater fish fauna inhabiting major lakes of Turkey under the threats of climate change and anthropogenic disturbances: A review. *Water*, **13**(11), 1534. DOI: [10.3390/w13111534](https://doi.org/10.3390/w13111534)
- Gozlan, R.E. (2008).** Introduction of non-native freshwater fish: is it all bad?. *Fish and fisheries*, **9**(1), 106-115. DOI: [10.1111/j.1467-2979.2007.00267.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2007.00267.x)
- Guisan, A., Graham, C.H., Elith, J., Huettmann, F., & NCEAS Species Distribution Modelling Group. (2007).** Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions*, **13**(3), 332-340. DOI: [10.1111/j.1472-4642.2007.00342.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00342.x)
- Hamzaoui, M., Aoueilayine, M.O.E., Romdhani, L., & Bouallegue, R. (2023).** Optimizing XGBoost performance for fish weight prediction through parameter pre-selection. *Fishes*, **8**(10), 505. DOI: [10.3390/fishes8100505](https://doi.org/10.3390/fishes8100505)
- Haubrock, P.J., Soto, I., Kourantidou, M., Ahmed, D.A., Serhan Tarkan, A., Balzani, Bego, P.K., Kouba, A., Aksu, S., Briski, E., Sylvester, F., De Santis, V., Archambaud-Suard, G., Bonada, N., Cañedo-Argüelles, M., Csabai, Z., Datry, T., Floury, M., Fruget, J.F., Jones, J.I., Lizée, M.H., Maire, A., Murphy, J.F., Ozolins, D. Rasmussen, J.J., Skuja, A., Várbaró, G., Verdonschot, P., Verdonschot, R.C.M., Wiberg-Larsen, P., & Cuthbert, R.N. (2024).** Understanding the complex dynamics of zebra mussel invasions over several decades in European rivers: drivers, impacts and predictions. *Oikos*, **2024**(4), e10283. DOI: [10.1111/oik.10283](https://doi.org/10.1111/oik.10283)
- Ighwela, K.A., Ahmed, A.B. & Abol-Munafi, A.B. (2011).** Condition factor as an indicator of growth and feeding intensity of Nile tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*) feed on different levels of maltose. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, **11**(4), 559-563.
- Komba, E.A., Munubi, R.N. & Chenyambuga, S.W. (2020).** Comparative evaluation of water quality parameters and growth performance of sex-reversed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) raised in two different climatic conditions in Tanzania. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, **8**(4), 18-23
- Korkmaz, M., Mangit, F., Dumlupınar, İ., Çolak, M.A., Akpınar, M.B., Koru, M., Pacheco, J.P., Ramírez-García, A., Yılmaz, G., Amorim, C.A., Özgencil, İ.K., İnnal, D., Yerli, S.V., Özkan, K., Akyürek, Z., Beklioğlu, M., & Jeppesen, E. (2023).** Effects of climate change on the habitat suitability and distribution of endemic freshwater fish species in semi-arid central Anatolian ecoregion in Türkiye. *Water*, **15**(8), 1619. DOI: [10.3390/w15081619](https://doi.org/10.3390/w15081619)
- Lehner, B., Messenger, M.L., Korver, M.C., & Linke, S. (2022).** Global hydro-environmental lake characteristics at high spatial resolution. *Scientific Data*, **9**(1), 351. DOI: [10.1038/s41597-022-01425-z](https://doi.org/10.1038/s41597-022-01425-z)
- Linke, S., Lehner, B., Ouellet Dallaire, C., Ariwi, J., Grill, G., Anand, M., & Thieme, M. (2019).** Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution. *Scientific Data*, **6**(1), 283. DOI: [10.1038/s41597-019-0300-6](https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6)
- Marchessaux, G., Luskow, F., Sarà, G., & Pakhomov, E.A. (2021).** Predicting the current and future global distribution of the invasive freshwater hydrozoan *Craspedacusta sowerbii*. *Scientific Reports*, **11**(1), 23099.
- Naimi, B., Hamm, N.A., Groen, T.A., Skidmore, A.K., & Toxopeus, A.G. (2014).** Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling?. *Ecography*, **37**(2), 191-203. DOI: [10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x)
- Naimi, B., & Naimi, M.B. (2017).** Package ‘usdm’. Uncertainty analysis for species distribution models. *R-Cran*, **18**, 1-19.
- Nivelle, R., Gennotte, V., Kalala, E.J.K., Ngoc, N.B., Muller, M., Melard, C., & Rougeot, C. (2019).** Temperature preference of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles induces

- spontaneous sex reversal. *PLoS One*, **14**(2), e0212504. DOI: [10.1371/journal.pone.0212504](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212504)
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç.K. (2013). Türkiye'nin Termal Su Kaynaklarının Coğrafi Açından Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **50**, 25-37.
- Phillips, J.S., Dudík, M., & Schapire, E.R. (2023). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Erişim tarihi: 2024.30.12.
- Rahel, F.J., & Olden, J.D. (2008). Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, **22**(3), 521-533. DOI: [10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x)
- Riahi, K., Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., & Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, **42**, 153-168. DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009)
- Selek, B., Tuncok, I.K., & Selek, Z. (2018). Changes in climate zones across Turkey. *Journal of Water and Climate Change*, **9**(1), 178-195. DOI: [10.2166/wcc.2017.121](https://doi.org/10.2166/wcc.2017.121)
- Shuai, F. & Li, J. (2022). Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) Invasion Caused Disruption to the Trophic Structure of Fish Communities in the South China River-Pearl River. *Biology*, **11**, 1665. DOI: [10.3390/biology11111665](https://doi.org/10.3390/biology11111665)
- Stauffer, J.R., Chirwa, E.R., Jere, W., Konings, A.F., Tweddle, D., & Weyl, O. (2022). Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae): a threat to native fishes of Lake Malawi?. *Biological Invasions*, **24**(6), 1585-1597. DOI: [10.1007/s10530-022-02756-z](https://doi.org/10.1007/s10530-022-02756-z)
- Şen, Z. (2022). İklim değişikliği ve Türkiye. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, **1**(1), 1-19.
- Tarkan, A.S., Mol, O., Aksu, S., Köse, E., Kurtul, I., Başkurt, S., & Emiroğlu, Ö. (2023). Phenotypic responses to piscivory in invasive gibel carp populations. *Aquatic Sciences*, **85**(3), 75. DOI: [10.1007/s00027-023-00974-8](https://doi.org/10.1007/s00027-023-00974-8)
- The Council of the European Union, Council Regulation. (2024). 708/2007 Concerning use of alien and locally absent species in aquaculture. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0708&from=EN>. Erişim tarihi 31.12.2024.
- Vitule, J. R. S., Freire, C. A. & Simberloff, D. (2009). Introduction of non-native freshwater fish can certainly be bad. *Fish and Fisheries*, **10**(1), 98-108. DOI: [10.1111/j.1467-2979.2008.00312.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00312.x)
- Vythalingam, L.M., Raghavan, R., Hossain, M., & Bhassu, S. (2022). Predicting aquatic invasions in a megadiverse region: Maximum-entropy-based modelling of six alien fish species in Malaysia. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **32**(1), 157-170. DOI: [10.1002/aqc.3729](https://doi.org/10.1002/aqc.3729)
- Williams, M.J. (2004). World fish supplies, outlook and food security. *Fish, Aquaculture and Food Security: Sustaining Fish as Food Supply*, August 11. 2004, Australia, 1-12
- Yılmaz, G., Çolak, M.A., Özgencil, İ.K., Metin, M., Korkmaz, M., Ertuğrul, S., & Jeppesen, E. (2021). Decadal changes in size, salinity, waterbirds, and fish in lakes of the Konya Closed Basin, Turkey, associated with climate change and increasing water abstraction for agriculture. *Inland Waters*, **11**(4), 538-555. DOI: [10.1080/20442041.2021.1924034](https://doi.org/10.1080/20442041.2021.1924034)
- Zengeya, T.A., Robertson, M.P., Booth, A.J., & Chimimba, C.T. (2013). Ecological niche modeling of the invasive potential of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in African river systems: concerns and implications for the conservation of indigenous congeners. *Biological Invasions*, **15**, 1507-1521. DOI: [10.1007/s10530-012-0386-7](https://doi.org/10.1007/s10530-012-0386-7)
- Zurell, D., Fritz, S.A., Rönnfeldt, A., & Steinbauer, M.J. (2023). Predicting extinctions with species distribution models. *Cambridge Prisms: Extinction*, **1**, e8. DOI: [10.1017/ext.2023.5](https://doi.org/10.1017/ext.2023.5)



Sürdürülebilir Turizm Kapsamında Coğrafi İşaret Kullanımına Yönelik Nicel Bir Araştırma

Elanur MUTLU^{1*} Gökalep Nuri SELÇUK²

¹ Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı, 25010 Erzurum, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, 25010 Erzurum, Türkiye

Geliş Tarihi: 05.06.2025

Kabul Tarihi: 14.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atf yapmak için: MUTLU, E., & SELÇUK, G.N. (2025). Sürdürülebilir Turizm Kapsamında Coğrafi İşaret Kullanımına Yönelik Nicel Bir Araştırma. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 493-500. <https://doi.org/10.35229/jaes.1715104>

How to cite: MUTLU, E., & SELÇUK, G.N. (2025). A Quantitative Study on the Use of Geographical Indications Within the Scope of Sustainable Tourism. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 493-500. <https://doi.org/10.35229/jaes.1715104>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4157-9245>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5073-6046>

***Sorumlu yazar:**

Elanur MUTLU
Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler
Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı,
25010 Erzurum, Türkiye
✉: mutlu.elanur@gmail.com

Öz: Günümüzde kültürel ve yöresel değerler, yalnızca birer miras unsuru olarak değil, aynı zamanda ekonomik kalkınmanın da önemli bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu değerlerin taklit edilme riski, yerel toplulukların sahip olduğu özgünlüğü tehdit etmektedir. Bu nedenle, coğrafi işaretleme sistemi gibi koruyucu mekanizmalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Aynı zamanda, coğrafi işaretli ürünlerin üretiminde geleneksel yöntemlerin ve çevre dostu uygulamaların teşvik edilmesi, doğal kaynakların korunması açısından da sürdürülebilir çevre yönetimine katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, Giresun ilinde yaşayan bireylerin coğrafi işaretli ürünlere ve kültürel mirasa yönelik algı, bilgi düzeyi ve tutumlarını nicel veriler aracılığıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, coğrafi işaret sisteminin doğal ve kültürel değerlerin sürdürülebilirliği üzerindeki etkisi sorgulanmıştır. Araştırma, tanımlayıcı ve karşılaştırmalı analizleri kapsayan nicel bir yaklaşımla yürütülmüştür. Veriler, Giresun'da ikamet eden 20 yaş ve üzeri 554 kişiden anket yoluyla toplanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, bireylerin demografik özelliklerine göre (ikamet yeri, eğitim düzeyi, meslek ve gelir durumu) coğrafi işaret algıları ve etiket bilgi düzeylerinde anlamlı farklılıklar olup olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kültürel mirasa yönelik algı ve tutum düzeyleri de benzer şekilde analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, katılımcıların coğrafi işaretlere dair bilgi düzeylerinin genellikle düşük olduğu, ancak bu ürünlerin yerel ekonomi ve kültürel sürdürülebilirlik açısından önemli bulunduğu gözlemlenmiştir. Bulgular, coğrafi işaret farkındalığının artırılmasına yönelik politika geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi işaret, çevre, kültürel miras, sürdürülebilirlik, yerel algı.

A Quantitative Study on the Use of Geographical Indications Within the Scope of Sustainable Tourism

Abstract: In today's world, cultural and local values are regarded not only as heritage elements but also as significant components of economic development. However, the risk of these values being imitated threatens the authenticity of local communities. Therefore, protective mechanisms such as the geographical indication (GI) system are gaining importance. At the same time, promoting traditional methods and environmentally friendly practices in the production of geographically indicated products contributes to sustainable environmental management and supports the conservation of natural resources. This study aims to examine the perceptions, knowledge levels, and attitudes of individuals residing in the province of Giresun towards geographically indicated products and cultural heritage through quantitative data. The research investigates the impact of the geographical indication system on the sustainability of natural and cultural assets. A quantitative approach, involving descriptive and comparative analyses, was employed in the study. Data were collected via a questionnaire from 554 individuals aged 20 and above living in Giresun. Based on the data obtained, it was determined whether there were differences in perceptions of geographical indications and knowledge about GI labeling according to demographic characteristics such as place of residence, education level, occupation, and income status. Likewise, perceptions and attitudes towards were also analyzed using similar methods. The analyses revealed that participants generally have low levels of knowledge about geographical indications, yet they consider such products important for the local economy and cultural sustainability. The findings indicate a need for policy development to enhance awareness of geographical indications.

Keywords: Geographical Indication, Environment, Cultural Heritage, Sustainability, Local Perception.

GİRİŞ

Kültür ve çevre, bir toplumun kimliğini oluşturan, onun diğer toplumlardan ayırt edilmesini sağlayan temel unsurlar arasında yer almaktadır. Kültür, toplumun maddi

ve manevi değerlerinin bütünüdür ifade ederken; çevre, bu değerlerin şekillendiği ve yaşatıldığı fiziksel zemini oluşturur. Nitekim tarih boyunca toplumların kendilerine özgü yaşam biçimleri, gelenekleri, üretim yöntemleri ve tüketim alışkanlıkları yalnızca kültürel çeşitliliğin değil,

¹Bu amakale Elanur MUTLU'nun Doktora Tez çalışmasından üretilmiştir.

This manuscript was produced from Elanur MUTLU's doctoral thesis.

aynı zamanda doğayla kurdukları ilişkinin de yansıması olmuştur (Erkol & Zengin, 2015). Günümüzde kültürel değerler yalnızca geçmişten geleceğe aktarılan miras unsurları olarak değil; aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği ve yerel kalkınmayı destekleyen ekonomik araçlar olarak da değerlendirilmektedir. Bu kapsamda geliştirilen ve önemi giderek artan coğrafi işaretleme sistemi, ürünlerin üretildikleri bölgenin doğal ve beşerî koşullarından aldığı özellikleri vurgular. Böylece tüketiciye kalite güvencesi sunarken, yerel üreticilere ekonomik fayda sağlar. Aynı zamanda, bu ürünlerin üretiminde geleneksel ve çevre dostu yöntemlerin sürdürülmesi, doğal kaynakların korunmasına katkı sunmakta ve çevre bilincini teşvik etmektedir. Coğrafi işaretler (Cİ), sınai mülkiyet haklarının bir türü olarak yalnızca bireysel üreticiyi değil, belirli bir coğrafyada üretim yapan tüm aktörleri kapsar. Bu yönüyle hem kolektif bir kültürel koruma hem de ekolojik sürdürülebilirlik mekanizması işlevi görmektedir (Domaç, 2023; Denk, 2022). Dolayısıyla, coğrafi işaretler sadece ekonomik değil, aynı zamanda kültürel sürdürülebilirliği de destekleyen çok boyutlu bir araç niteliğindedir. Antik dönemlere kadar uzanan bu koruma anlayışı, özellikle Avrupa’da 13. yüzyıldan itibaren sistematik hale gelmiş, 20. yüzyılda ise kırsal kalkınmanın temel stratejilerinden biri olarak kurumsallaşmıştır (Tekelioğlu, 2010). Fransa, İtalya ve İspanya gibi ülkelerde başarıyla uygulanan sistem, Avrupa Birliği politikalarıyla uyumlu biçimde kırsal turizmi desteklemiş; yerel üretim ile kültürel kimliğin korunmasına katkı sağlamıştır (Kan & Gülçubuk, 2008). Türkiye’de ise 1995 yılından itibaren Türk Patent ve Marka Kurumu’nun yürüttüğü coğrafi işaret tescil süreciyle bu alanda önemli gelişmeler yaşanmıştır. 2023 yılı itibarıyla tescil edilen ürün sayısı 1333’e ulaşmıştır. Ancak uygulamada karşılaşılan tescil, denetim, bilinç ve yönetim sorunları, sistemin etkinliğini sınırlamaktadır (TÜRKPATENT, 2023). Ulusal Kırsal Kalkınma Stratejisi (Devlet Planlama Teşkilatı, 2006) ile 2024–2028 dönemini kapsayan On İkinci Kalkınma Planı’nda coğrafi işaretler; hem yerel üretimin markalaşması hem de fikri mülkiyet bilincinin yaygınlaştırılması bağlamında öncelikli alanlar arasında değerlendirilmiştir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı – SBB, 2023). Ancak tüm bu gelişmelere rağmen Türkiye’de birçok bölge, sahip olduğu potansiyele rağmen sistemin sunduğu avantajlardan yeterince yararlanamamaktadır. Giresun ili, zengin ürün çeşitliliği, otantik lezzetleri ve geleneksel üretim kültürüyle coğrafi işaret tesciline aday çok sayıda ürüne sahiptir. Ancak mevcut durumda yalnızca sınırlı sayıda ürün tescillenmiştir. Bu durum, hem yerel halkın konuya ilişkin farkındalık düzeyinin hem de sistemin işleyişindeki yapısal sorunların birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda yürütülen çalışmanın temel amacı; Giresun ilinde yaşayan

bireylerin coğrafi işaretli ürünlere yönelik algılarını, bilgi düzeylerini ve kültürel mirasa ilişkin tutumlarını belirlemek ve bu doğrultuda yerel düzeyde uygulanabilir politika önerileri geliştirmektir.

Coğrafi işaretli ürünler üzerine yapılan araştırmalar, bu ürünlerin yerel kalkınma, tüketici algısı, ekonomik sürdürülebilirlik ve turizm ile olan ilişkilerine odaklanmaktadır. Çakaloğlu ve Çağatay (2017), Finike Portakalı ve Antalya Tavşan Yüreği Zeytini örneği üzerinden tüketici algısını incelemiş ve farkındalığın yetersiz olduğunu vurgulamışlardır. Ekici (2021), Ulusal Strateji Belgesi sonrasında ilginin arttığını; Durmuş vd. (2022) ise Bozcaada Çavuş Üzümü örneğiyle bölgesel gelişime katkı sağlandığını göstermiştir. Çevresel sürdürülebilirlik açısından Balaban (2016), geleneksel üretim tekniklerinin çevreye duyarlı süreçler sunduğunu vurgulamıştır. Genel olarak, literatür coğrafi işaretlerin kırsal kalkınma, ekonomik fayda, turizm ve kültürel mirasın korunmasına çok boyutlu katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, tüketici farkındalığının artırılması, üretici eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve sistemsel denetimin güçlendirilmesi, sürdürülebilir sonuçlar için kritik görülmektedir.

MATERYAL VE METOT

Bu araştırma, Giresun ilinde yaşayan bireylerin coğrafi işaretli ürünlere yönelik bilgi düzeylerini, algılarını ve bireysel tercihlerine ilişkin tutumlarını belirlemek amacıyla yürütülen betimsel bir alan araştırmasıdır. Nicel araştırma yöntemi temelinde yapılandırılan çalışmada, veri toplama aracı olarak anket tekniği kullanılmıştır. Araştırmanın evrenini Giresun ilinin merkez, ilçe ve köylerinde ikamet eden 20 yaş ve üzeri bireyler oluşturmaktadır. Tesadüfi örnekleme yöntemlerinden kolayda örnekleme tekniğiyle 554 katılımcıya ulaşılmıştır. Anket formu, Denk (2022) tarafından geliştirilen ölçme aracından uyarlanarak oluşturulmuş; ilgili literatür ve uzman görüşleri doğrultusunda şekillendirilmiştir. Anket iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, katılımcıların yaş, cinsiyet, medeni durum, ikamet yeri ve meslek gibi demografik bilgilerine yönelik 5 soru ile coğrafi işaret farkındalığı ve tüketim davranışlarına ilişkin 4 soru olmak üzere toplam 9 madde yer almaktadır. İkinci bölümde ise katılımcıların coğrafi işaretli ürünlere yönelik tutumlarını ölçmeye yönelik 35 ifade bulunmaktadır. Bu ifadeler, “Coğrafi İşaret ve Ürünler Hakkında” (5 madde), “Koruma ve Tescil” (5 madde), “Ekonomik ve Kültürel Katkılar” (5 madde), “Tüketici Tercihleri” (5 madde), “Geliştirme ve Farkındalık” (5 madde) ve “Pazarlama ve Yönetim” (5 madde) olmak üzere altı tematik başlık altında gruplanmıştır. Toplamda 44 maddeden oluşan anket formu, beşli Likert tipi ölçekle yapılandırılmıştır.

İstatistik Analiz: Bu çalışmada iki temel faktör altında gruplandırılmıştır: “Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihler” ile “Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli.” Elde edilen veriler SPSS 26.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilere öncelikle tanımlayıcı istatistiksel analizler (frekans, yüzde, dağılım) uygulanmış, ardından değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği test edilmiştir. Normallik varsayımının sağlanmaması nedeniyle, grup karşılaştırmalarında parametrik olmayan test teknikleri olan Mann-Whitney U ve Kruskal-Wallis H testlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca, ölçeklerin yapı geçerliliğini test etmek amacıyla faktör analizi yapılmış, yüksek düzeyde Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değerleri ve anlamlı Bartlett's Test sonuçları elde edilmiştir. Bu yöntemsel çerçeve, araştırmanın hem ölçüm geçerliliğini hem de değişkenler arası karşılaştırma gücünü sağlam temellere oturtmakta; coğrafi işaret sistemine ilişkin bireysel ve toplumsal algıların çok boyutlu olarak değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

BULGULAR

Bu bölümde, çalışmada elde edilen nicel veriler doğrultusunda yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına ve bu sonuçlara ilişkin yorumlara yer verilmiştir.

Bu araştırma kapsamında değerlendirilen 554 katılımcıya ait temel demografik özellikler aşağıda sunulmaktadır. Katılımcıların %52'si kadın, %48'i erkektir. Yaş gruplarına göre en yoğun katılım %40,3 ile 20–29 yaş aralığında gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla %21,7 ile 30–39 yaş, %20,6 ile 40–49 yaş, %13,7 ile 50–59 yaş ve %3,8 ile 60–69 yaş grupları takip etmektedir. Katılımcıların %53,1'i evli, %46,9'u bekarıdır. Meslek dağılımında kamu çalışanları %42,1 ile en yüksek oranı oluşturmakta, özel sektör çalışanları %13,2 ile onu takip etmektedir. “Diğer” kategorisindeki meslek gruplarının toplam oranı %29,4'tür. İkamet değişkeni açısından ise katılımcıların %67,9'u il merkezinde, %27,4'ü ilçelerde, %4,7'si ise köylerde yaşamaktadır. Bu dağılımlar, çalışmanın kentsel ve kırsal alanları kapsayan bir temsiliyete sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

Tüketicilerin algıladıkları ürün değeri ve bireysel tercihlere yönelik oluşturulan ölçekte faktör analizine uygunluk değerlendirilmiştir. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliliği katsayısı 0,941 olarak bulunmuş, bu değer 0,90'ın üzerinde olması nedeniyle “mükemmel” düzeyde bir örneklem yeterliliğine işaret etmektedir. Ayrıca Bartlett's küresellik testi sonucu ($\chi^2 = 902,939$, $df = 105$, $p < 0,001$) anlamlı bulunmuş ve değişkenler arasında yeterli korelasyon yapısının bulunduğu doğrulanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, veri setinin faktör analizine elverişli olduğu ve ölçeğin alt boyutlarının keşfedilmesi için yapısal analiz yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ölçek, bireylerin satın alma tercihlerine yön veren temel değerleri ortaya koymak adına güvenilir bir temel sunmaktadır.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özelliklerine göre dağılımı.

Table 1. Distribution of participants according to demographic characteristics.

Değişkenler	Gruplar	f	%
Cinsiyet	Kadın	288	52
	Erkek	266	48
Yaş	20-29 yaş arası	223	40,3
	30-39 yaş arası	120	21,7
	40-49 yaş arası	114	20,6
	50-59 yaş arası	76	13,7
	60-69 yaş arası	21	3,8
Medeni Durum	Bekar	260	46,9
	Evli	294	53,1
Mesleğiniz	Kamu Çalışanı	233	42,1
	Özel Sektör	73	13,2
	Serbest Meslek	12	2,2
	Ev Hanımı	27	4,9
	Emekli	14	2,5
	İşsiz	32	5,8
	Diğer	163	29,4
İkamet	Merkez	376	67,9
	İlçe	152	27,4
	Köy	26	4,7

Tüketicilerin algıladıkları ürün değeri ve bireysel tercihlere ilişkin ifadeler üzerinde gerçekleştirilen açıklayıcı faktör analizi sonuçları sunulmuştur. Döndürülmüş bileşen matrisine (Rotated Component Matrix) göre iki faktör yapısı elde edilmiştir. Birinci faktör, “ürün özelliklerine dayalı bireysel tercihler” boyutunu temsil etmekte olup, doğallık, güvenilirlik, çevre dostu olma, geleneksellik, sağlık katkısı gibi algıları kapsamaktadır. Bu faktöre yüksek düzeyde yüklenen ifadeler, katılımcıların coğrafi işaretli ürünleri tercih ederken bireysel değerler üzerinden değerlendirme yaptığını göstermektedir. İkinci faktör ise daha çok “sistemsel güven ve yönetim” boyutunu yansıtmaktadır. Bu bağlamda, coğrafi işaret tescil süreçlerinin şeffaflığı, yerel düzeydeki uygulamaların yönetimi ve denetim mekanizmalarına ilişkin algılar bu bileşende toplanmıştır. Faktör yük değerlerinin büyük ölçüde 0,60'ın üzerinde olması ve iki boyutun açıklayıcı gücünün yüksek olması, ölçeğin geçerlilik açısından tatmin edici bir yapı sunduğunu göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen bu iki faktör, sonraki karşılaştırmalı analizler için temel değişken seti olarak değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Giresun'da Yaşayan Yerel Halkın Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihlerine İlişkin Faktör Boyutları.

Table 2. Factor Dimensions Related to Perceived Product Value and Individual Preferences of the Local People Living in Giresun.

Döndürülmüş Bileşenler Matrisi	Bileşen	
	1	2
Satın alacağım yiyeceğin güvenilir olması benim için önemlidir.	0,902	
Satın alacağım yiyeceğin doğallığı benim için önemlidir.	0,900	
Satın alacağım yiyeceğin çevre dostu olması benim için önemlidir.	0,880	
Satın alacağım yiyeceğin besin değeri benim için önemlidir.	0,872	
Satın alacağım yiyeceğin geleneksel yöntemlerle üretilmesi önemlidir.	0,844	
Cİ ürünler yerel kültürün bir parçasıdır.	0,819	0,306
Cİ ürünlerin korunması gereklidir.	0,811	0,359
Cİ ürünleri sağlık açısından yararlı buluyorum.	0,783	0,357
Cİ ürünler hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak isterim.	0,740	0,325
Cİ ürünler çevre dostudur.	0,737	0,406
Cİ ürünlerin üretiminde geleneksel yöntemler kullanılmalıdır.	0,695	0,369
Yerel olarak üretilen yiyecekleri düzenli olarak satın alıyorum.	0,662	0,381
Cİ tescil süreci şeffaf ve güvenilirdir.	0,598	0,592
Giresun'da Cİ tescil süreci iyi yönetilmektedir.		0,887
Cİ ürünlerin denetimi düzenli olarak yapılmaktadır.		0,884

“Sistemsal Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli” ölçeğine ilişkin faktör analizine uygunluk değerlendirmesi ise Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterlilik katsayısı 0,965 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, örneklemen faktör analizine son derece uygun olduğunu ve verinin çok güçlü bir yapı sunduğunu göstermektedir (Kaiser, 1974). Bartlett's küresellik testi sonucu da oldukça anlamlıdır ($\chi^2 = 12396,751$, $df = 105$, $p < 0,001$). Bu durum, ölçek maddeleri arasında faktör analizi için yeterli düzeyde ilişki bulunduğunu göstermektedir.

Genel olarak, bu test sonuçları veri setinin çok boyutlu yapılar açısından incelenmesine olanak tanıdığını ve faktör analizi sürecinin bilimsel olarak sağlam bir temele dayandığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda ölçek, yerel halkın coğrafi işaret sistemine ilişkin yönetişimsel ve kalkınma temelli algılarını ölçmek için geçerli bir araç olarak kabul edilmiştir.

Giresun'da yaşayan bireylerin coğrafi işaretli (Cİ) ürünlere yönelik sistemsal algılarını ve kalkınma potansiyeline dair değerlendirmelerini ölçmek amacıyla yapılan faktör analizinin döndürülmüş bileşen matrisini içermektedir. Analiz sonucunda iki temel bileşen (faktör) elde edilmiştir. İlk faktör, coğrafi işaretli ürünlerin ekonomik katkısı, kültürel değerlerin korunması, uluslararası tanıtımı, pazarlama stratejileri, markalaşma ve gelecek nesillere aktarım gibi temalar etrafında yoğunlaşmakta ve sistemsal sürdürülebilirlik ile bölgesel kalkınmaya katkı algılarını yansıtmaktadır. Yüksek faktör değerleri, katılımcıların bu temaları güçlü şekilde benimsediğini göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Giresun'da Yaşayan Yerel Halkın Sistemsal Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeline İlişkin Faktör Yükleri.

Table 3. Factor Loadings Related to Systemic Aspects, Control, and Development Potential of the Local People Living in Giresun.

Döndürülmüş Bileşenler Matrisi	Bileşen	
	1	2
Cİ ürünler, bölgeye özgü özelliklerini korumalıdır.	0,936	
Cİ ürünlerin pazarlama stratejileri güçlendirilmelidir.	0,921	
Cİ ürünlerin gelecek nesillere aktarılması önemlidir.	0,917	
Cİ ürünlerin uluslararası tanıtımı artırılmalıdır.	0,911	
Cİ ürünler, yerel ekonomiyi desteklemektedir.	0,909	
Cİ ürünlerin tescilli, yerel üreticilere fayda sağlar.	0,908	
Cİ ürünlerin gelecekte daha fazla desteklenmesi gerektiğini düşünüyorum.	0,900	
Cİ ürünlerin üretim süreçleri daha iyi denetlenmelidir.	0,896	
Cİ ürünler, kültürel mirasın korunmasına katkı sağlamaktadır.	0,884	
Cİ ürünler turizme katkı sağlamaktadır.	0,882	
Cİ ürünlerin markalaşması önemlidir.	0,881	
Cİ ürünler yerel ekonomiye katkı sağlamaktadır.	0,878	
Cİ ürünler uluslararası pazarlarda rekabet avantajı yaratmaktadır.	0,759	0,354
Giresun'da Cİ ürünlerin tanıtımı yeterlidir.		0,878
Cİ tescil sürecinde yerel halkın görüşleri dikkate alınmaktadır.	0,302	0,772

İkinci faktör ise yönetim ve katılım odaklı bir yapıyı temsil etmektedir. “Giresun'da Cİ ürünlerin tanıtımı yeterlidir” ve “Cİ tescil sürecinde yerel halkın görüşleri dikkate alınmaktadır” ifadelerinin bu faktöre yüksek düzeyde yüklenmesi, sistemin şeffaflığı ve yerel halkın sürece katılımına yönelik algıların ayrı bir boyutta ele alındığını göstermektedir. Bu yapı, coğrafi işaret sistemine yalnızca ekonomik değil, yönetişimsel bir perspektiften de

yaklaşıldığını ortaya koymaktadır. Literatürde (Aprile vd., 2016; Sancak, 2019) benzer temalar altında geliştirilen ölçek yapıları ile de uyumludur. Elde edilen bu çift faktörlü yapı, çalışmanın kapsamına uygun düşmekte ve coğrafi işaret sisteminin çok boyutlu etkilerini ortaya koymaktadır.

Tablo 4'te katılımcıların demografik özellikleri, coğrafi işaretli ürün farkındalığı ve tüketim eğilimleri “Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihler” ile “Sistemsal Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli” başlıkları altında toplanan faktörler arasında anlamlı farklılık olup olmadığı test edilmiştir. Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihler ve Sistemsal Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli faktörlerinin normal dağılıma uygunlukları test edilmiştir. Faktörün dağılımı ile normal dağılım arasında fark yoktur temel hipotezi kurulmuştur. Buna göre her iki faktör içinde temel hipotez yüzde 95 güven seviyesinde reddedilmiştir ($p < 0.05$). Bu sonuca göre faktörler normal dağılım göstermediği için parametrik olmayan yöntemlerin kullanılması uygun olacaktır.

Tablo 4. Tüketicilerin Algılanan Ürün Değeri, Bireysel Tercihler ile Sistemsal Yönler ve Kalkınma Potansiyeline İlişkin Normallik Testi Sonuçları.

Table 4. Normality Test Results for Consumers' Perceived Product Value, Individual Preferences, and Systemic Aspects and Development Potential.

	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	Sd	Sig.
Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihler	0,191	554	0,000
Sistemsal Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli	0,215	554	0,000

Tablo 5'te katılımcıların Algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler faktörü meslek bakımından farklılık olup olmadığı parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis testi kullanılarak incelenmiştir. Buna göre algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler faktörüne verilen cevaplar katılımcıların meslekleri bakımından farklılık yoktur temel hipotezi yüzde 95 güven düzeyinde reddedilmiştir ($p < 0.05$). Bu sonuçlara göre meslek değişkenlerine verilen cevaplar farklılık göstermektedir. Belirlenen bu farklılığın hangi meslek grupları arasında olduğunu tespiti için Dunn'ın ikili karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Tablo 5. Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihler Düzeyine İlişkin Kruskal-Wallis H Test Sonuçları (Meslek Değişkeni)

Table 5. Results of the Kruskal-Wallis H Test on Perceived Product Value and Individual Preferences According to Occupation).

Kruskal-Wallis H	24,772
Sd	6
Sig. (Çift Kuyruk)	0,000

Tablo 6'da Dunn'ın ikili karşılaştırma sonucuna göre Birinci meslek grubu ile ikinci meslek grubu arasında farklılık yoktur temel hipotezi kurulmuştur. Elde edilen bulgulara göre işsiz ile kamu çalışanı ve diğer ile kamu çalışanı grupları arasında temel hipotez reddedilmiştir ($p < 0.05$). Buna göre “işsiz ile kamu çalışanı”, “diğer ile kamu çalışanı” arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Tablo 6. Katılımcıların Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercih Düzeylerinin Mesleklerine Göre Dunn's Testi ile İkili Karşılaştırması.**Table 6.** Dunn's Test Pairwise Comparisons of Participants' Perceived Product Value and Individual Preferences Across Occupational Groups.

Örnek 1- Örnek 2	Test İstatistikleri	Standart Hata	Standart Test İstatistikleri	Sig.	Adj Sig
İşsiz-Emekli	30,391	51,257	0,593	0,553	1,000
İşsiz-Diğer	-37,723	30,929	-1,220	0,223	1,000
İşsiz-Serbest Meslek	45,766	54,147	0,845	0,398	1,000
İşsiz-Ev Hanımı	82,400	41,801	1,971	0,049	1,000
İşsiz-Kamu Çalışanı	99,654	30,157	3,305	0,001	0,020
İşsiz-Özel Sektör	101,346	33,914	2,988	0,003	0,059
Emekli-Diğer	-7,333	44,550	-0,165	0,869	1,000
Emekli-Serbest Meslek	15,375	62,928	0,244	0,807	1,000
Emekli-Ev Hanımı	52,009	52,682	0,987	0,324	1,000
Emekli-Kamu Çalışanı	69,263	44,017	1,574	0,116	1,000
Emekli-Özel Sektör	70,955	46,671	1,520	0,128	1,000
Diğer-Serbest Meslek	8,042	47,846	0,168	0,867	1,000
Diğer-Ev Hanımı	44,676	33,237	1,344	0,179	1,000
Diğer-Kamu Çalışanı	61,930	16,334	3,791	0,000	0,003
Diğer-Özel Sektör	63,623	22,528	2,824	0,005	0,100
Serbest Meslek-Ev Hanımı	-36,634	55,498	-0,660	0,509	1,000
Serbest Meslek-Kamu Çalışanı	53,888	47,351	1,138	0,255	1,000
Serbest Meslek-Özel Sektör	55,580	49,828	1,115	0,265	1,000
Ev Hanımı-Kamu Çalışanı	17,254	32,519	0,531	0,596	1,000
Ev Hanımı-Özel Sektör	18,946	36,031	0,526	0,599	1,000
Kamu Çalışanı-Özel Sektör	-1,693	21,455	-0,079	0,937	1,000

Tablo 7'de Sistemsel yönler, denetim ve kalkınma potansiyeli faktörü meslek bakımından farklılık olup olmadığı parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis testi kullanılarak incelenmiştir. Buna göre sistemsel yönler, denetim ve kalkınma potansiyeli faktörüne verilen cevaplar katılımcıların meslekleri bakımından farklılık yoktur temel hipotezi yüzde 95 güven düzeyinde reddedilememiştir ($p < \frac{0.05}{2}$). Bu sonuçlara göre meslek değişkenlerine verilen cevaplar farklılık göstermemektedir.

Tablo 7. Katılımcıların Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeline Yönelik Algılarının Mesleklerine Göre Test İstatistiği Tablosu.**Table 7.** Test Statistics for Participants' Perceptions Regarding Systemic Dimensions, Control, and Development Potential by Occupational Groups.

Kruskal-Wallis H	13,211
Sd	6
Sig. (Çift Kuyruk)	0,040

Tablo 8'de katılımcıların algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler faktörü ci bilgi düzeyi bakımından farklılık olup olmadığı parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis testi kullanılarak incelenmiştir. Buna göre algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler faktörüne verilen cevaplar katılımcıların ci bilgi düzeyi bakımından farklılık yoktur temel hipotezi yüzde 95 güven düzeyinde reddedilmiştir ($p < 0.05$). Bu sonuçlara göre ci bilgi düzeyi değişkenlerine verilen cevaplar farklılık göstermektedir. Belirlenen bu farklılığın hangi ci bilgi düzeyi grupları arasında olduğunun tespiti için Dunn'ın ikili karşılaştırma testi uygulanmıştır.

Tablo 8. Katılımcıların Algılanan ürün değeri ve bireysel tercihlerine Göre Giresun'a Ait Coğrafi İşaretli Ürün Algılarına Göre Kruskal-Wallis Testi.**Table 8.** Kruskal-Wallis Test Results for Participants' Perceptions of Giresun's Geographical Indication Products Based on Perceived Product Value and Individual Preferences.

Kruskal-Wallis H	20,023
Sd	2
Sig. (Çift Kuyruk)	0,000

Tablo 9'da katılımcıların algılanan ürün değeri ve bireysel tercih düzeylerinin coğrafi işaretli ürünleri bilme

durumlarına göre Dunn'ın ikili karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir. "Birinci grup ile ikinci grup arasında anlamlı fark yoktur" temel hipotezi kurulmuştur. Test sonuçlarına göre "Hayır ile Evet" ve "Bilmiyorum ile Evet" grupları için anlamlı farklar bulunmuş, bu gruplar için temel hipotez reddedilmiştir ($p < 0.05$).

Tablo 9. Katılımcıların Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercih Düzeylerinin Coğrafi İşaret Bilgisi Düzeyine Göre Dunn'ın Testi ile İkili Karşılaştırması.**Table 9.** Dunn's Test Pairwise Comparisons of Participants' Perceived Product Value and Individual Preferences by Level of Knowledge About Geographical Indications.

Örnek 1- Örnek 2	Test İstatistikleri	Standart Hata	Standart Test İstatistikleri	Sig.	Adj Sig
Bilmiyorum-Evet	68,968	15,598	4,422	0,000	0,000
Bilmiyorum-Hayır	75,424	38,172	1,976	0,048	0,144
Evet-Hayır	-6,456	36,674	-0,176	0,860	1,000

Tablo 10'da katılımcıların sistemsel yönler, denetim ve kalkınma potansiyeli faktörü Giresun'a ait ci bilgi düzeyi bakımından farklılık olup olmadığı parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis testi kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 5.35'te derlenmiştir. Buna göre sistemsel yönler, denetim ve kalkınma potansiyeli faktörüne verilen cevaplar katılımcıların Giresun'a ait ci bilgi düzeyi bakımından farklılık yoktur temel hipotezi yüzde 95 güven düzeyinde reddedilmiştir ($p < 0.05$). Bu sonuçlara göre Giresun'a ait ci bilgi düzeyi değişkenlerine verilen cevaplar farklılık göstermektedir. Belirlenen bu farklılığın hangi Giresun'a ait ci bilgi düzeyi grupları arasında olduğunun tespiti için Dunn's ikili karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Tablo 10. Katılımcıların Giresun'a Ait Coğrafi İşaretli Ürün Bilme Durumlarına Göre Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli Algısının Test İstatistikleri.**Table 10.** Test Statistics on Perceived Systemic Aspects, Control, and Development Potential According to Participants' Awareness of Geographical Indication Products from Giresun.

Kruskal-Wallis H	24,169
Sd	2
Sig. (Çift Kuyruk)	0,000

Tablo 11'de Dunn testi analizde her bir grup çifti için gruplar arasında anlamlı fark yoktur temel hipotezi

kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre yalnızca “Bilmiyorum ile Evet” için temel hipotez reddedilmiştir yani bilmiyorum yanıtını veren katılımcılar ile evet yanıtını veren katılımcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,05$).

Tablo 11. Katılımcıların Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyelinin Coğrafi İşaret Bilgisi Düzeyine Göre Dunn’ın Testi ile İkili Karşılaştırması.

Table 11. Dunn’s Test Pairwise Comparisons of Participants’ Perceptions of Systemic Aspects, Control, and Development Potential by Their Geographical Indication Knowledge Level.

Örnek 1- Örnek 2	Test İstatistikleri	Standart Hata	Standart Test İstatistikleri	Sig.	Adj Sig
Bilmiyorum-Hayır	63,422	38,170	1,662	0,097	0,290
Bilmiyorum-Evet	76,612	15,597	4,912	0,000	0,000
Hayır-Evet	13,190	36,672	0,360	0,719	1,000

Tablo 12’de katılımcıların algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler faktörü ci işaretli ürün satın alması bakımından farklılık olup olmadığı parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis testi kullanılarak incelenmiştir. Buna göre algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler faktörüne verilen cevaplar katılımcıların ci işaretli ürün satın alması bakımından farklılık yoktur temel hipotezi yüzde 95 güven düzeyinde reddedilmiştir ($p < 0,05$). Bu sonuçlara göre ci işaretli ürün satın alması değişkenlerine verilen cevaplar farklılık göstermektedir. Belirlenen bu farklılığın hangi ci işaretli ürün satın alma değişkeni arasında olduğunun tespiti için Dunn’ın ikili karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Tablo 12. Katılımcıların Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihlerine İlişkin Kruskal-Wallis Testi Sonuçları (Satın Alma Durumuna Göre).

Table 12. Kruskal-Wallis Test Results on Participants’ Perceived Product Value and Individual Preferences by Their Purchasing Behavior.

Kruskal-Wallis H	36,697
Sd	3
Sig. (Çift Kuyruk)	0,000

Tablo 13’te Dunn testi analiz sonucuna göre katılımcıların coğrafi işaretli ürünleri satın alma sıklıklarına göre algılanan ürün değeri ve bireysel tercihler düzeylerinin ikili karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir. Analizde her bir grup çifti için “gruplar arasında bir fark yoktur” temel hipotezi kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre “nadiren - bazen”, “nadiren - hiçalmam”, “sıklıkla - hiçalmam” ve “bazen - hiçalmam” grupları için temel hipotez reddedilmiştir ($p < 0,05$). Bu sonuca göre katılımcıların verdikleri cevaplar arasında belirtilen gruplar için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir.

Tablo 14’te Sistemsel yönler, denetim ve kalkınma potansiyeli faktörü ci işaretli ürün satın alması bakımından farklılık olup olmadığı parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis testi kullanılarak incelenmiştir. Buna göre Sistemsel yönler, denetim ve kalkınma potansiyeli faktörüne verilen cevaplar katılımcıların ci işaretli ürün satın alması bakımından farklılık yoktur temel hipotezi yüzde 95 güven düzeyinde

reddedilmiştir ($p < 0,05$). Bu sonuçlara göre ci işaretli ürün satın alması değişkenlerine verilen cevaplar farklılık göstermektedir. Belirlenen bu farklılığın hangi ci işaretli ürün satın alma değişkeni arasında olduğunun tespiti için Dunn’ın ikili karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Tablo 13. Katılımcıların Algılanan ürün değeri ve bireysel tercihlerine Coğrafi İşaretli Ürün Satın Alma Durumlarına Göre Dunn’ın Testi ile İkili Karşılaştırması.

Table 13. Dunn’s Test Pairwise Comparisons of Participants’ Perceived Product Value and Individual Preferences by Their Geographical Indication Product Purchase Status.

Örnek 1- Örnek 2	Test İstatistikleri	Standart Hata	Standart Test İstatistikleri	Sig.	Adj Sig
Nadiren-Sıklıkla	51,508	28,648	1,798	0,072	0,433
Nadiren-Bazen	84,343	26,365	3,199	0,001	0,008
Nadiren-Hiçalmam	-158,429	29,738	-5,327	0,000	0,000
Sıklıkla-Bazen	-32,836	17,243	-1,904	0,057	0,341
Sıklıkla-Hiçalmam	-106,922	22,059	-4,847	0,000	0,000
Bazen-Hiçalmam	-74,086	19,000	-3,899	0,000	0,001

Tablo 14. Katılımcıların Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli Algılarının Coğrafi İşaretli Ürün Satın Alma Durumlarına Göre Kruskal-Wallis Testi Sonuçları.

Table 14. Kruskal-Wallis Test Results on Systemic Aspects, Control, and Development Potential by Participants’ Geographical Indication Product Purchase Status.

Kruskal-Wallis H	37,491
Sd	3
Sig. (Çift Kuyruk)	0,000

Tablo 15’te Dunn testi sonuçlarına göre her bir grup çifti için “gruplar arasında anlamlı bir fark yoktur” temel hipotezi kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre “nadiren - bazen”, “nadiren - hiçalmam”, “sıklıkla - hiçalmam” ve “bazen - hiçalmam” grupları için temel hipotez reddedilmiştir ($p < 0,05$). Bu sonuca göre katılımcıların verdikleri cevaplar arasında belirtilen gruplar için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir.

Tablo 15. Katılımcıların Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli Algılarının Coğrafi İşaretli Ürün Satın Alma Durumlarına Göre Dunn’ın Testi ile İkili Karşılaştırması.

Table 15. Dunn’s Test Pairwise Comparisons of Systemic Aspects, Control, and Development Potential by Participants’ Geographical Indication Product Purchase Status.

Örnek 1- Örnek 2	Test İstatistikleri	Standart Hata	Standart Test İstatistikleri	Sig.	Adj Sig
Nadiren-Sıklıkla	67,870	28,646	2,369	0,018	0,107
Nadiren-Bazen	110,336	26,363	4,185	0,000	0,000
Nadiren-Hiçalmam	-164,272	29,737	-5,524	0,000	0,000
Sıklıkla-Bazen	-42,466	17,242	-2,463	0,014	0,083
Sıklıkla-Hiçalmam	-96,402	22,058	-4,370	0,000	0,000
Bazen-Hiçalmam	-53,936	18,999	-2,839	0,005	0,027

Bu genel bulgular, tüketicilerin demografik özelliklerinin, bilgi düzeylerinin ve tüketim alışkanlıklarının, coğrafi işaretli ürünlere yönelik algılarını ve tutumlarını önemli ölçüde şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, yerel kalkınma stratejileri ve coğrafi işaretleme politikalarının daha etkili hale getirilebilmesi için hedef kitleye özgü planlamaların yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu araştırmada, Giresun ilinde yaşayan bireylerin coğrafi işaretli ürünlere yönelik bilgi düzeyi, algı ve

bireysel tercihlerine ilişkin tutumları ile sistemsel yönler dair değerlendirmeleri nicel veriler aracılığıyla ortaya konmuştur. Araştırmanın temel amacı, coğrafi işaret sistemine ilişkin yerel halk farkındalığını belirlemek ve sosyo-demografik değişkenler bağlamında anlamlı farklılıkları analiz etmektir. Araştırmada kullanılan ölçek yapılarında iki temel boyut belirlenmiştir: “Algılanan Ürün Değeri ve Bireysel Tercihler” ile “Sistemsel Yönler, Denetim ve Kalkınma Potansiyeli”. Faktör analizlerinde elde edilen yüksek KMO değerleri (0,941 ve 0,965), ölçeklerin geçerli yapılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcılar, ürünlerin doğallığı, sağlıklı oluşu ve geleneksel yöntemlerle üretilmesinin yanı sıra, coğrafi işaretin kültürel mirasın korunmasına katkı sunduğu görüşüne de güçlü biçimde katılmaktadır. Ancak sistemsel güven ve denetime ilişkin algıların görece daha düşük puanlar alması, sürecin şeffaflığı ve işleyişine yönelik kuşku devam ettiğini göstermektedir. Demografik değişkenlere göre yapılan analizlerde; yaş ve meslek grupları değişkenlerine göre algı düzeylerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle 30-49 yaş grubunda yer alan bireylerin daha yüksek ürün değeri algısına sahip olmaları, bu yaş grubunun tüketici olarak daha bilinçli tercih yaptıklarını göstermektedir. Aynı şekilde, kamu çalışanlarının sistemsel güvene ve kalkınma potansiyeline yönelik algılarının yüksek olması dikkat çekicidir. Buna karşın cinsiyet, ikamet ve medeni durum gibi değişkenlerde genel olarak anlamlı farklılık tespit edilmemiştir. Bu durum, coğrafi işaret algısının bazı bireysel değişkenlerden bağımsız, daha çok bilgi ve deneyim düzeyiyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Bu araştırma, Giresun ilinde yaşayan bireylerin coğrafi işaretli ürünlere ilişkin bilgi düzeylerini, bu ürünlere yönelik algılarını ve sisteme dair tutumlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışma bulguları, katılımcıların coğrafi işaret kavramına aşina olduklarını ve bu ürünlere olumlu bir yaklaşım sergilediklerini göstermektedir. Ancak uygulamaya yönelik derinleşmiş bilgi eksikliklerinin bulunduğu, özellikle tescil süreçleri, denetim mekanizmaları ve tanıtım faaliyetleri bağlamında sistemin işlevselliğine yönelik eleştirilerin dikkat çekici düzeyde olduğu saptanmıştır. Bu durum, kamuoyunun konuya ilişkin yüzeysel bir farkındalık geliştirdiğini, ancak kavramsal düzeydeki bilgi birikiminin uygulamaya yansımadığını ortaya koymaktadır. Araştırma sonuçları, ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan benzer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Çakaloğlu ve Çağatay (2017) ile Şahin ve Meral (2012), tüketici nezdinde farkındalığın istenen düzeye ulaşmadığını ve bu sebeple eğitim ve tanıtım çalışmalarının artırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Teuber (2011), Almanya örneğinde,

coğrafi işaret sistemine dair bilgi eksikliğinin tüketici davranışlarını sınırladığını belirtirken; Kök ve Güngör (2021) gibi araştırmacılar, etkili iletişim kanallarının yetersizliğine dikkat çekmişlerdir. Giresun özelinde yürütülen çalışmalarda da benzer şekilde, tescilli ürünlerin hem yerel hem de turistik bağlamda yeterince görünür olmadığı ortaya konulmaktadır (Paşlı, 2021; Şat ve Saydam, 2024). Araştırma sonuçları, coğrafi işaretlerin yalnızca ekonomik çıktılarla sınırlı olmayan, aynı zamanda kültürel süreklilik ve çevresel duyarlılıkla da ilişkilendirilebilecek çok boyutlu bir kalkınma aracı olduğunu desteklemektedir. Nitekim Şentürk (2011) ve Yürekli (2015) gibi araştırmacılar, bu sistemin kırsal yaşam alanlarında ekonomik canlılığı artırma potansiyelini vurgulamış; Tepe (2008) ise yerel üretici lehine oluşan rekabet üstünlüğünün sosyoekonomik yapıya olumlu yansımalarını ön plana çıkarmıştır. Diğer yandan, sistemin yönetim boyutuna ilişkin eleştiriler de literatürde yer almaktadır. Özellikle İloğlu (2014) ve Domaç Yaşar (2022), sistemin sürdürülebilirliğinin ancak güçlü bir kurumsal yapı ve etkin denetimle sağlanabileceğini ifade etmektedir. Giresun örneğinde de benzer şekilde, tescil sonrası süreçlerde izleme, denetim ve standardizasyonun yeterince kurumsallaşmadığı görülmektedir.

Turizm ve yerel kalkınma açısından değerlendirildiğinde, coğrafi işaretli ürünlerin bölgesel destinasyon kimliğine katkı sunduğu ve gastronomi temelli turizm faaliyetlerini destekleyici bir unsur olarak işlev gördüğü söylenebilir. Tapan (2023) ve Paksoy (2022), bu sistemin kırsal turizmde özellikle kadın istihdamı ve kültürel üretim aracılığıyla ekonomik çeşitlenmeye olanak tanıdığını ifade etmektedir. Giresun gibi geleneksel ürün çeşitliliği yüksek olan bölgelerde, bu potansiyelin hâlâ büyük ölçüde atıl durumda olduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda, sistemin yerel düzeyde daha işlevsel hale gelebilmesi için bir dizi stratejik öneri geliştirilmiştir. Her şeyden önce, halkın bilgilendirilmesine yönelik içerik temelli kampanyalar yaygınlaştırılmalı; etiketleme ve logolama gibi görünürlük unsurları daha sistematik biçimde uygulanmalıdır. Ayrıca, üreticilerin süreçlere katılımı artırılmalı, yerel yönetimler ile sivil toplum kuruluşları arasında iş birliği mekanizmaları kurulmalı; böylece hem yönetim hem de uygulama süreçlerinde bütüncül bir yapı tesis edilmelidir. Bu tür bir çerçeve, yalnızca ürün bazlı değil, bölge merkezli kalkınma stratejilerinin etkinliğini de artıracaktır. Son olarak, ilerleyen çalışmalarda niteliksel yöntemlerle yürütülecek daha derinlemesine analizlerin, coğrafi işaret sistemine ilişkin yerel algıların ve katılımın dinamiklerini daha kapsamlı biçimde ortaya koyacağı düşünülmektedir. Bu tür araştırmalar, yalnızca uygulamaya değil, aynı zamanda politika yapım süreçlerine de katkı sağlayabilecek veri setleri üretme potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- Aprile, M. C., Caputo, V., & Nayga, R. M. Jr. (2016).** Consumers' preferences and attitudes toward local food products. *Journal of Food Products Marketing*, 22(1), 19-42.
- Çakaloğlu, A., & Çağatay, S. (2017).** Coğrafi işaretli ürünlerde tüketici algısı: Antalya örneği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 95-101.
- Çakaloğlu, M., & Çağatay, S. (2017).** Coğrafi işaretler ve marka değerine sahip ürünlere yönelik tüketici algısı: Finike portakalı ve Antalya tavşan yureği zeytini örnekleri. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 52-65.
- Denk, E. (2022).** Türkiye'de coğrafi işaret tescil süreçlerinin değerlendirilmesi. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Ana Bilim Dalı, Erzurum, Türkiye, 305s.
- Domaç Yaşar, Y. (2023).** *Kültür ve gelenek aktarımı bağlamında coğrafi işaret sisteminin işlevleri*. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türk Halkbilimi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, 253s.
- Domaç, S. (2023).** Coğrafi işaret sisteminin kültürel mirasın korunmasındaki rolü. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 13-30.
- Durmuş, Y., Demirel, T., & Ünlüönen, K. (2022).** Coğrafi işaretli ürünlerin yerel kalkınmaya katkısı: Bozcaada Çavuş Üzümlü örneği. *Turizm Akademik Dergisi*, 9(1), 100-117.
- Ekici, Ö. (2021).** Türkiye'de coğrafi işaret uygulamalarına genel bakış. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(80), 466-474.
- Erkol, M., & Zengin, B. (2015).** Kültür ve toplum: Kavramsal çerçeve. *Sosyoloji Dergisi*, 3(31), 65-83.
- İloğlu, N. (2014).** *Coğrafi işaretlerin tescili ve denetimi üzerine farklı ülke sistemlerinin incelenmesi ve Türkiye uygulaması*. Uzmanlık Raporu, 88s. Türk Patent Enstitüsü, Markalar Dairesi Başkanlığı.
- Kan, A., & Gülçubuk, B. (2008).** Coğrafi işaretlerin kırsal kalkınmadaki rolü: AB ve Türkiye uygulamaları. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 14(2), 53-65.
- Kök, A., & Güngör, A. (2021).** Coğrafi işaretli ürünlerin sürdürülebilir gastronomi turizmi açısından önemi: Akçakoca-Melengüçceği tatlısı örneği. *Gastroia: Journal of Gastronomy and Travel Research*, 5(1), 61-74.
- Paksoy, M. (2022).** Kahramanmaraş ilinin coğrafi işaret potansiyelinin kırsal turizm açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Social and Economic Sciences*, 12(2), 55-61.
- Pash, M. M. (2021).** Coğrafi işaretli gastronomi ürünleri üzerine bir araştırma: Giresun ili örneği. *Tourism and Recreation*, 3(1), 93-99.
- Sancak, K. (2019).** *Ankara ili Çankaya ilçesinde coğrafi işaretli ürünlerde tüketici algısı (Beypazarı kurusu, Çubuk turşusu, Kalecik karası üzümü örneği)*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 126s.
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı-SBB (2023).** *2024-2028 On İkinci Kalkınma Planı*. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
- Şahin, A., & Meral, Y. (2012).** Türkiye'de coğrafi işaretleme ve yöresel ürünler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 88-92.
- Şat, R., & Saydam, F. (2024).** Yerel işletmelerin coğrafi işaretli ürünleri kullanımına yönelik bir araştırma: Giresun ili örneği. *Premium Sosyal Bilimler E-Dergisi*, 8(48), 1435-1447. DOI: [10.5281/zenodo.14266464](https://doi.org/10.5281/zenodo.14266464)
- Şentürk, B. (2011).** *Coğrafi işaretlerin ekonomik etkileri: Mikro ve makro açıdan bir değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla, Türkiye, 108s.
- Tapan, İ. (2023).** Malatya ilindeki coğrafi işaretli ürünlerin değerlendirmesi. *Fikriyat*, 3(1), 41-64.
- Tekelioğlu, Y. (2010).** Yöresel Ürünler, Coğrafi İşaretler ve Türkiye Uygulamaları. *Gastro Dergisi*, 118-121.
- Tepe, B. (2008).** Coğrafi işaretlerin tarımsal üretime etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-8.
- Tepe, S. (2008).** *Coğrafi işaretlerin ekonomik etkileri*. T.C. Türk Patent Enstitüsü, Markalar Dairesi Başkanlığı, Ankara, 148s.
- Teuber, R. (2011).** Consumers' and producers' expectations towards geographical indications: Empirical evidence for a German case study. *British Food Journal*, 113(7), 900-918.
- TÜRK PATENT. (2023).** *Coğrafi İşaret ve Geleneksel Ürün Adı İstatistikleri*. Türk Patent ve Marka Kurumu.
- Yürekli, D. (2015).** *Coğrafi işaretlerin tescili ve uygulama sürecindeki sonuçların analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 177s.



Üniversite Öğrencilerinin Su Ürünleri Tüketim Tercihleri Üzerine Bir Araştırma: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Örneği

Barış KARSLI^{1*} Murat TÜREDİ²

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, 53100 Rize, Türkiye

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 53100 Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 13.06.2025

Kabul Tarihi: 13.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atf yapmak için: Karşlı, B., & Türedi, M. (2025). Üniversite Öğrencilerinin Su Ürünleri Tüketim Tercihleri Üzerine Bir Araştırma: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Örneği. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 501-513. <https://doi.org/10.35229/jaes.1718157>

How to cite: Karşlı, B., & Türedi, M. (2025). An Investigation into University Students' Seafood Consumption Preferences: A Case Study of Recep Tayyip Erdoğan University. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 501-513. <https://doi.org/10.35229/jaes.1718157>

*<https://orcid.org/0000-0002-3944-6988>
<https://orcid.org/0009-0007-5131-982X>

*Sorumlu yazar:

Barış KARSLI
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su
Ürünleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi
Anabilim Dalı, 53100 Rize, Türkiye
✉: baris.karsli@erdogan.edu.tr

Öz: Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi öğrencilerinin su ürünleri tüketim alışkanlıklarını incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında uygulanan anket aracılığıyla öğrencilerin su ürünlerine erişim durumu, tüketim sıklığı, tercih edilen balık türleri ve satın alma davranışları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, öğrencilerin %92,9'unun su ürünleri tükettiğini göstermektedir; ancak tüketim sıklığı genellikle yılda birkaç kez ile sınırlı kalmakta, haftalık düzenli tüketim oranı ise yalnızca %9 gibi düşük bir seviyede kalmaktadır. Katılımcıların %38,4'ü yılda birkaç kez, %25,5'i ayda bir, %14,5'i ise iki haftada bir balık tüketmektedir. Hamsi en çok tercih edilen balık türü olurken, tazelik satın alma kararını etkileyen en önemli unsur olarak öne çıkmıştır. Öğrencilerin tüketim alışkanlıklarında bölgesel farklılıklar, barınma koşulları ve ürünlere erişim imkânları belirleyici rol oynamaktadır. Katılımcıların önemli bir kısmı su ürünleri tüketim düzeyini yeterli bulmamakta ya da bu konuda kararsız kalmaktadır. Ayrıca, öğrencilerin %64,6'sı, Omega-3 gibi takviye edici gıdaların su ürünlerinin yerine tercih edilmesi görüşüne katılmamaktadır. Araştırma bulguları, genç nüfusun su ürünleri tüketiminde bilinç düzeyinin artırılması ve erişim koşullarının iyileştirilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu yönüyle çalışma, genç bireylerin beslenme davranışlarını ve sosyoekonomik etmenlerin tüketim üzerindeki etkilerini ortaya koyan özgün bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Anket, öğrenci, su ürünleri, tüketim, üniversite.

An Investigation into University Students' Seafood Consumption Preferences: A Case Study of Recep Tayyip Erdoğan University

Abstract: This study aims to examine the seafood consumption habits of students at Recep Tayyip Erdoğan University. Through a structured questionnaire, data were collected on students' access to seafood, frequency of consumption, preferred fish species, and purchasing behaviors. The findings reveal that 92.9% of the participants consume seafood; however, the frequency is generally limited to only a few times per year, with regular weekly consumption reported by just 9% of the respondents. Specifically, 38.4% consume fish a few times per year, 25.5% once a month, and 14.5% every two weeks. Anchovy emerged as the most preferred fish species, and freshness was identified as the most influential factor in purchasing decisions. Regional differences, housing conditions, and access to seafood were found to significantly affect consumption patterns. A considerable proportion of students do not consider their seafood intake sufficient or remain uncertain about it. Additionally, 64.6% of the participants disagreed with the idea that dietary supplements such as Omega-3 could be preferred over seafood, while only 15.5% supported this view. The results underscore the need to raise awareness among young individuals and to improve access to seafood in order to enhance consumption behaviors. This study contributes original insights into the dietary habits of university students and highlights the role of regional and socioeconomic factors in shaping seafood consumption, thus offering a valuable perspective for future nutritional interventions and public health strategies targeting the youth population.

Keywords: Aquatic Products, Consumption, Student, Survey, University.

GİRİŞ

Yeryüzünün yaklaşık %71'i sularla kaplıdır ve bu alanlar, çok çeşitli sucul canlı türlerine yaşam alanı sunmaktadır (Issac & Kandasubramanian, 2021). Tarih boyunca insanlar, özellikle balıklar başta olmak üzere, bu sucul organizmaları önemli bir besin kaynağı olarak

değerlendirmiştir. Hayvansal proteinler, insan beslenmesinde temel bir unsur olup, bu protein grubunun önemli bir kısmını su ürünleri oluşturmaktadır (Çağlak & Karşlı, 2017). Su ürünleri; yüksek protein içeriği, kaliteli doymamış yağ asitleri ve zengin besin profiliyle dengeli ve sağlıklı beslenme açısından büyük önem taşımaktadır (Çağlak vd., 2015; Karsli vd., 2021).

Dünya genelinde su ürünleri üretim miktarları artış göstermektedir. FAO'nun 2022 yılı verilerine göre, toplam su ürünleri üretimi 185,4 milyon ton civarındadır (FAO, 2024). Bu üretimin büyük bir kısmı Çin (%35) başta olmak üzere Asya ülkeleri (%70) tarafından gerçekleştirilmektedir. Aynı veriler doğrultusunda, su ürünleri üretimi içinde özellikle yetiştiricilik faaliyetlerinin yıllar içinde ciddi bir artış gösterdiği göze çarpmaktadır. Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde, Türkiye yalnızca üç tarafının denizlerle çevrili bir yarımada olmasıyla değil, aynı zamanda geniş iç su kaynaklarına sahip oluşuyla da önemli bir su potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin kıyı uzunluğu 8.333 km, toplam su alanı ise yaklaşık 9.820 km²'dir. (URL-1). TÜİK'in verilerine göre (TÜİK, 2024), Türkiye'nin toplam su ürünleri üretimi 2023 yılında 1.007.920 ton olarak gerçekleşmiş; bu miktarın büyük bir kısmını yetiştiricilik faaliyetleri oluşturmuştur.

Son yıllarda üretimdeki bu artış dikkat çekici olsa da, kişi başına düşen su ürünleri tüketimi istenilen seviyelere ulaşamamıştır. TÜİK verilerine göre Türkiye'de kişi başına düşen su ürünleri tüketimi son beş yılda 6,3 kg ila 7,3 kg arasında değişmekte olup 2023 yılında 7,2 kg olarak kaydedilmiştir (TÜİK, 2024). Oysa bu miktar, 2020 yılı verilerine bakıldığında İzlanda ve Maldivler gibi ada ülkelerinde 80 kg üzerinde seyrederken Norveç ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde yıllık 45-50 kg seviyelerde rapor edilmiştir (FAO, 2024). Dünya ortalamasının ise 2022 yılında 20,7 kg (FAOSTAT, 2024) ile Türkiye ortalamasının neredeyse 3 kat daha fazlası olduğu görülmektedir. Tüketim düzeyinin düşük olmasının nedenleri üzerine yapılacak değerlendirmeler ile toplumu bilinçlendirmeye yönelik çabalar, su ürünleri sektörünün sürdürülebilirliği ve gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Türkiye genelinde su ürünleri tüketimine yönelik çok sayıda anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmaların büyük çoğunluğu il düzeyinde yürütülmüş olup, belirli bölgelerde yaşayan bireylerin su ürünleri tüketim alışkanlıkları üzerine odaklanmıştır (Arıca, 2017; Balık vd., 2013; Bolat & Cevher, 2018; Bolat & Telli, 2019; Cengiz & Özoğlu, 2019; Çiçek vd., 2014; Durna vd., 2023; Gürel vd., 2017; Kaplan vd., 2019; Karakulak vd., 2020; Karakuş vd., 2008; Kuşat & Şahan, 2021; Kuzgun & Demirbağ, 2018; Saygı vd., 2015; Selvi vd., 2022; Şimşek & Arslan, 2024; Terin & İnanç, 2023; Uzundumlu & Dinçel, 2015; Yüksel & Diler, 2019). Bununla birlikte, üniversite öğrencilerine yönelik yapılmış daha sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında Yalova Üniversitesi (Gürdal & Kayalı, 2025), Mersin Üniversitesi (Alageyik vd., 2020), Adıyaman Üniversitesi Kahta Meslek Yüksekokulu (Olgunoğlu vd., 2020), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Çine MYO (Sarı vd., 2019) ve Ankara Üniversitesi (Yavuzcan vd., 2010) örnek gösterilebilir. Ayrıca Yıldırım (2020), yükseköğretim kurumlarında görev yapan

akademisyenlerin su ürünleri tüketim alışkanlıklarını incelemiştir.

Üniversite öğrencileri üzerine odaklanan çalışmaların önemi, bu bireylerin farklı illerden gelmeleri nedeniyle çeşitli kültürel, sosyoekonomik ve bölgesel tüketim alışkanlıklarının karşılaştırılmasına olanak tanınmasıdır. Aynı zamanda, öğrencilerin yaşam koşulları da tüketim davranışlarını doğrudan etkilemektedir. Aile yanında yaşayan öğrencilerin su ürünlerine erişimi ile yurt, öğrenci evi ya da diğer toplu konaklama alanlarında kalan öğrencilerin tüketim düzeyleri arasında farklılıklar olabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle, üniversite öğrencilerinin sadece bireysel tercihlerinin değil, aynı zamanda yaşam alanlarının da su ürünleri tüketimi üzerindeki etkilerinin anlaşılması, sağlıklı beslenme davranışlarının teşvik edilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu doğrultuda, çalışmamızda Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi öğrencilerinin su ürünleri tüketim alışkanlıklarını belirlemeye yönelik bir anket uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, genç bireylerin su ürünleri tüketimine yönelik bilgi düzeylerini, tutumlarını ve tüketim davranışlarını analiz ederek, tüketimin artırılmasına katkı sağlayabilecek öneriler geliştirmektir. Literatürde bazı çalışmaların illere özgü tüketim alışkanlıklarını ortaya koyduğu, bazılarının ise üniversite öğrencilerine odaklandığı görülmektedir. Sunulan bu çalışma ise hem demografik hem de yaşam koşullarına dayalı farklılıkları ortaya koyarak, bölgesel çeşitliliğin ve barınma koşullarının su ürünleri tüketimine etkisini değerlendirmeyi amaçlamakta; bu yönüyle literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Anket Soruları: Bu çalışma, 2024–2025 öğretim yılı Mart–Nisan ayları arasında, Rize İl'inde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'nde öğrenim görmekte olan öğrenciler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, tesadüfi örnekleme yöntemi ile belirlenen toplam 310 üniversite öğrencisine, kişisel bilgileri ile sosyal ve ekonomik durumlarını sorgulayan 6 soru ve su ürünleri tüketim alışkanlıklarını değerlendirmeye yönelik 27 sorudan oluşan, toplam 33 soruluk bir anket uygulanmıştır.

Anket formu çevrimiçi olarak Google Forms aracılığıyla hazırlanmış ve katılımcıların yalnızca bir kez yanıtlayabileceği şekilde yapılandırılmıştır. Anket soruları, öğrencilerin su ürünleri tüketim sıklığı, tercih ettikleri ürün türleri, tüketim motivasyonları, bilgi düzeyleri ve satın alma alışkanlıkları gibi çeşitli boyutları kapsamaktadır. Verilerin toplanmasında gönüllülük esas alınmış, katılımcıların kimlikleri gizli tutulmuş ve etik ilkeler doğrultusunda hareket edilmiştir.

Verilerin Değerlendirilmesi: Elde edilen verilerin analizi, Google Forms platformundan sağlanan otomatik özetler ve grafiklerle desteklenmiş; daha ayrıntılı değerlendirme ve düzenlemeler için Microsoft Excel 2024 yazılımı kullanılmıştır. Veriler, tanımlayıcı istatistikler (frekans, yüzde dağılımı vb.) temelinde analiz edilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Rize ilinde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'nde öğrenim gören ve tesadüfi olarak seçilen 310 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kullanılan 33 sorudan oluşan anket formu, 04 Mart 2025 - 11 Nisan 2025 tarihleri arasında çevrim içi olarak öğrencilere uygulanmıştır.

Ankete katılan öğrencilerin %59,7'si kadın, %40,3'ü ise erkektir (Tablo 1). Bu oran, 2024 yılı Yükseköğretim Kurulu (YÖK) verilerine göre Türkiye'de öğrenim gören toplam 7.081.289 üniversite öğrencisinin %52,05'inin kadın olduğu gerçeğiyle örtüşmektedir. Ayrıca, katılımcıların büyük çoğunluğunu (%81,9) 18-24 yaş aralığındaki öğrenciler oluşturmaktadır (Tablo 1). Bu durum, çalışmanın üniversite çağı gençliğini temsil etme açısından uygun bir örnekleme sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Gürdal & Kayalı (2025) tarafından Yalova Üniversitesi öğrencileri üzerinde gerçekleştirilen anket çalışmasında da kadın (%56,8) katılımcı oranının erkeklerle (%42,2) göre daha yüksek olduğu ve katılımcıların %83,5'inin 18-25 yaş aralığında yer aldığı rapor edilmiştir.

Öğrencilerin aile gelirine ilişkin veriler incelendiğinde, katılımcıların %72,8'inin hane gelirinin 2024 yılı itibarıyla 22.105 ₺ olarak belirlenen asgari ücretin üzerinde, %27,2'sinin ise altında gelir beyan ettiği görülmüştür (Tablo 1). Bu dağılımda, ankette yer alan "hane halkının mesleği" sorusuna verilen "emekli" yanıtının (%30,6) sıklıkla tercih edilmesinin etkili olduğu düşünülmektedir (Tablo 1). Benzer şekilde, Gürdal & Kayalı (2025) tarafından yürütülen bir çalışmada da emekli bireylerin oranı %24,4 olarak rapor edilmiştir. Bu durum, emekli bireylerin sabit gelir düzeylerinin, hane halkı gelir dağılımında belirleyici bir unsur olabileceğini göstermektedir.

Öğrencilerin %42,6'sı ailesiyle birlikte yaşadığını, %57,4'ü ise devlet yurdu, özel yurt veya kiralık ev gibi farklı barınma seçeneklerinde kaldığını belirtmiştir (Tablo 1). Aynı il ve çevre illerden gelen katılımcı sayısının yüksek olduğu dikkate alındığında, bu oransal dağılımın çalışma açısından uygun olduğu değerlendirilmektedir. Benzer nitelikteki çalışmalarda aileyle birlikte yaşama oranlarının %22,22 (Sarı vd., 2019), %26,67 (Olgunoğlu vd., 2020) ve %32,5 (Alageyik vd., 2020) seviyelerinde seyrettiği görülmekte; bu durum, elde edilen oranın literatürde

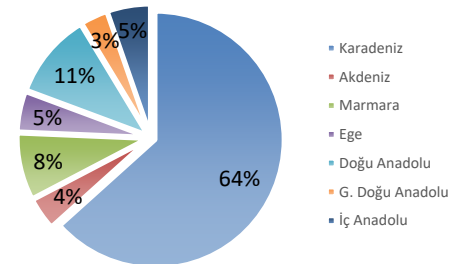
bildirilen oranlardan daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Araştırmaya katılan bireylerin demografik özellikleri; cinsiyet, yaş, aile gelir düzeyi, hane reisinin meslek grubu ve barınma durumu.

Table 1. Demographic profile of the participants with respect to gender, age, family income level, occupation of the household head, and accommodation type.

Cinsiyet	Frekans (N)	Yüzde (%)
Kadın	185	59,7
Erkek	125	40,3
Yaş		
18-24	254	81,9
25-34	39	12,6
35-44	16	5,2
45+	1	0,3
Ailesinin Gelir Düzeyi (₺)		
<22.104	84	27,2
22.105-40.000	117	37,9
40.001-60.000	64	20,7
60.000+	44	14,2
Hanede Çalışanların Mesleği		
Kamu çalışanı	76	24,5
Özel sektör çalışanı	91	29,4
Emekli	95	30,6
Çalışmıyor	30	9,7
Diğer	76	24,5
Barınma durumu		
Aile yanı	132	42,6
Devlet yurtları	115	37,1
Özel yurtlar	16	5,2
Kiralık ev	41	13,2
Diğer	6	1,9

Ankete katılan öğrencilerin %64'ü, anketin yürütüldüğü il olan Rize (%42) ve komşu il Trabzon (%17) başta olmak üzere Karadeniz Bölgesi'nden gelmektedir (Şekil 1). Bu durum, örneklemin anketin yürütüldüğü bölgeyi daha çok temsil ettiğini göstermektedir. Benzer çalışmalarda da (Gürdal & Kayalı, 2025; Sarı vd., 2019; Yavuzcan vd., 2010), anketin uygulandığı üniversitelerde öğrencilerin ağırlıklı olarak aynı il veya yakın çevre illerden geldiği ve bu grupların katılımcı sayısında çoğunluğu oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 1. Katılımcıların yaşadıkları coğrafi bölgeler.

Figure 1. The geographical distribution of participants.

Bu araştırmada elde edilen bulgular, öğrencilerin yetiştiriciliği yapılan su ürünlerinin sağlıklı olup olmadığı konusunda kararsız kaldıklarını ortaya koymaktadır. Katılımcıların %44'ü bu konuda kararsız olduklarını belirtirken, olumlu görüş bildirenlerin oranı %36,8, olumsuz görüş belirtenlerin oranı ise %19,2'de kalmıştır (Tablo 2). Bu durum, öğrenciler arasında konuya dair bilgi eksikliği veya güven sorunu olduğunu düşündürmektedir. Benzer şekilde, Gürdal & Kayalı (2025)'in çalışmasında da katılımcıların %41,6'sı "orta derecede kabul ediyorum" seçeneğini işaretlemiştir. Bu sonuç, her iki çalışmada da

katılımcıların büyük bir kısmının kesin bir yargıya varmaktan kaçındığını göstermektedir. Gürdal & Kayalı (2025)'in bulgularına göre "katılmıyorum" ve "kesinlikle katılmıyorum" diyenlerin toplam oranı %18,7 iken, bu araştırmada benzer şekilde %19,2 olarak bulunmuştur. Bu benzerlik, yetiştiricilik ürünlerine yönelik olumsuz tutumun genel olarak düşük, fakat olumlu tutumun da yeterince güçlü olmadığını göstermektedir. Her iki çalışmada da dikkat çeken yüksek kararsızlık oranı, tüketicilerin bu ürünlere dair daha fazla bilgilendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Araştırma bulguları, öğrencilerin su ürünleri tüketimine ilişkin tutumlarının çeşitli bireysel ve çevresel faktörlere bağlı olarak şekillendiğini ortaya koymaktadır. Katılımcıların %64,6'sı, Omega-3 gibi takviye edici gıdaların su ürünlerinin yerini alamayacağı görüşündedir (Tablo 2). Bu bulgu, doğal ve doğrudan besin kaynaklarına olan güvenin, işlenmiş ya da dolaylı ürünlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Su ürünleri tüketiminin bir alışkanlık meselesi olduğu yönündeki görüş ise katılımcıların %64,4'ü tarafından desteklenmiştir (Tablo 2). Bu durum, tüketim davranışlarının çoğunlukla kültürel, ailesel veya bireysel rutinlerle ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, su ürünleri tüketiminin inanç temelli nedenlerle sınırlandırıldığına ilişkin ifadeye verilen yanıtlar, bu etkinin oldukça sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Katılımcıların %61,5'i bu görüşe katılmadığını belirtmiştir (Tablo 2). Bu sonuç, dini ya da kültürel inançların su ürünleri tüketimi üzerinde belirleyici bir faktör olmadığını göstermektedir.

Öte yandan, su ürünlerinin pişirme yöntemlerinin yaşam alanına uygun olmadığı yönündeki görüşlere katılım düzeyleri incelendiğinde, katılımcıların önemli bir kısmının bu durumu bir engel olarak gördüğü anlaşılmaktadır. Katılımcıların %18,9'u "kesinlikle katılıyorum" ve %13'ü "katılıyorum" yanıtını vererek toplamda %31,9 oranında bu görüşe katıldıklarını belirtmiştir (Tablo 2). Ayrıca %22,1'i kararsız kalmıştır. Bu bulgular, öğrencilerin önemli bir bölümünün balık gibi ürünleri pişirme sürecini yaşam koşulları açısından problemlili bulduğunu düşündürmektedir. Özellikle üniversite öğrencilerinin büyük oranda yurt, apart veya toplu konaklama alanlarında yaşadığı göz önünde bulundurulduğunda, bu alanlarda mutfak imkânlarının sınırlı olması veya pişirme sırasında oluşan kokunun çevreyi rahatsız etme ihtimali, su ürünleri tüketimini olumsuz etkileyen pratik sebepler arasında yer alabilir.

Araştırmada, su ürünleri tüketiminin artırılmasına yönelik ekonomik bir unsur olan fiyat indirimi, katılımcılar tarafından yüksek oranda (%72,2) desteklenmiştir (Tablo 2). Bu bulgu, ekonomik erişilebilirliğin tüketim kararları üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, literatürde yer alan benzer çalışmalarla da örtüşmektedir. Örneğin, daha önceki bir çalışmada da katılımcıların büyük çoğunluğunun su ürünleri yerine

takviye ürünleri tercih etmediği, tüketimin alışkanlıklarla ilişkili olduğu, inanç temelli engellerin düşük düzeyde olduğu ve fiyat indiriminin tüketimi artırabileceği tespit edilmiştir (Gürdal & Kayalı, 2025). Bulguların bu yönde tutarlı olması, özellikle üniversite öğrencileri gibi genç yetişkin bireyler arasında benzer tutum ve davranış eğilimlerinin yaygın olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, katılımcıların "Yeterli miktarda su ürünleri tüketiyor musunuz?" sorusuna verdikleri yanıtlarda da kendini göstermektedir. Katılımcıların yalnızca %19,2'si "kesinlikle katılıyorum" ve %22,4'ü "katılıyorum" demiştir. Buna karşılık, %21,1'i "katılmıyorum", %12'si ise "kesinlikle katılmıyorum" yanıtını vermiş; %25,3'ü ise kararsız kaldığını belirtmiştir (Tablo 2). Bu dağılım, öğrencilerin büyük bir bölümünün yeterli düzeyde su ürünü tüketmediğini düşündüğünü ya da bu konuda emin olmadığını ortaya koymaktadır. Tüketim alışkanlıklarının ve fiziksel yaşam koşullarının, su ürünlerine erişim ve tüketim üzerinde sınırlayıcı bir etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Nitekim Gürdal & Kayalı (2025)'in çalışmasında da üniversite öğrencilerinin %63'ünün tükettikleri su ürünlerini yetersiz buldukları rapor edilmiştir. Bu bulgu, mevcut araştırmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Katılımcıların su ürünlerinin avlanma yöntemleri ve gıda güvenliği denetimlerine ilişkin görüşleri değerlendirildiğinde, genel olarak kararsızlık ve güvensizlik dikkat çekmektedir. Bu çalışmada "Su ürünleri uygun yöntemlerle avlanmaktadır" sorusuna %46,4'lük bir kesim "kararsızım" yanıtını verirken, yalnızca %15,6 "kesinlikle katılıyorum" ve %16,2 "katılıyorum" demiştir (Tablo 2). Benzer şekilde, "Gıda güvenliği ve denetimleri yeterli midir?" sorusunda da %38,7 "kararsızım", %20,3 "katılmıyorum" ve %16,5 "kesinlikle katılmıyorum" demiştir (Tablo 2). Bu sonuçlar, üniversite öğrencileri arasında hem denetim süreçlerine hem de avlanma yöntemlerine dair bilgi eksikliği veya şüphe bulunduğuna işaret etmektedir. Gürdal & Kayalı (2025) çalışmasında da benzer bir tablo dikkat çekmektedir. Katılımcıların %39,7'si su ürünlerinin uygun yöntemlerle avlandığına orta düzeyde katıldığını belirtirken, yalnızca %22,9'u "katılıyorum" ve %12,1'i "kesinlikle katılıyorum" ifadesine yer vermiştir. Buna karşın %17,5 "katılmıyorum" ve %7,9 "kesinlikle katılmıyorum" diyenlerin oranı da azımsanmayacak düzeydedir. Aynı çalışmada, gıda güvenliği kontrol ve denetimlerine ilişkin olarak da %23 oranında "yeterli" görüşü bildirilirken, %32'si denetimleri "yetersiz" bulmuştur. Katılımcıların çoğunluğunun (%45) ise görüşünü "orta düzeyde" belirtmiş olması, genel bir bilgi eksikliği ve sistemsel şeffaflık sorununun göstergesi olabilir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde gıda güvenliği uygulamalarının artırılması, kamuoyuna daha açık şekilde sunulması ve tüketicilerin bu konuda bilinçlendirilmesi gereklidir.

Tablo 2. Katılımcıların su ürünleri tüketimine ilişkin tutum ve görüş dağılımları.

Table 2. Distribution of participants' attitudes and opinions regarding seafood consumption.

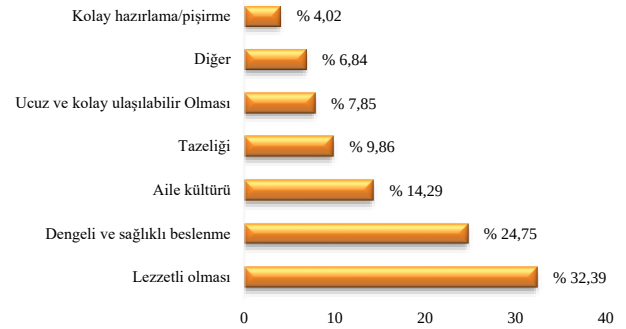
	1	2	3	4	5
Yetiştiriciliği yapılan su ürünlerinin daha sağlıklıdır	N:24 %7,8	N:35 %11,4	N:135 %44	N:54 %17,6	N:59 %19,2
Su ürünleri tüketmek yerine Omega-3 gibi takviye edici gıdalar tercih edilebilir	N:109 %35,2	N:91 %29,4	N:62 %20	N:18 %5,8	N:30 %9,7
Su ürünleri tüketimi alışkanlıkla ilgilidir	N:17 %5,5	N:19 %6,1	N:74 %23,9	N:121 %39,2	N:78 %25,2
Su ürünleri tüketimi inançlarımız ile ilgilidir	N:114 %36,9	N:76 %24,6	N:59 %19,1	N:32 %10,4	N:28 %9,1
Su ürünleri pişirme yöntemleri yaşam alanım için uygun değildir	N:88 %28,7	N:53 %17,3	N:68 %22,1	N:40 %13	N:58 %18,9
Yeterli miktarda su ürünleri tüketiyor musun	N:37 %12	N:65 %21,1	N:78 %25,3	N:69 %22,4	N:59 %19,2
Su ürünleri uygun yöntemlerle avlanmaktadır	N:23 %7,5	N:44 %14,3	N:143 %46,4	N:50 %16,2	N:48 %15,6
Gıda güvenliği ve denetimleri yeterlidir	N:51 %16,5	N:63 %20,3	N:120 %38,7	N:45 %14,5	N:31 %10
Su ürünleri tüketiminin artması için indirim yapılmalıdır	N:11 %3,6	N:22 %7,1	N:53 %17,2	N:96 %31,1	N:127 %41,1

1: Kesinlikle katılmıyorum, 2: Katılmıyorum, 3: Kararsızım, 4: Katılıyorum, 5: Kesinlikle Katılıyorum.
1: Strongly disagree, 2: Disagree, 3: Neutral, 4: Agree, 5: Strongly agree.

Bu çalışmada, üniversite öğrencilerinin balık tüketim alışkanlıkları, tüketim nedenleri, tüketmeme gerekçeleri ve balık fiyatlarına yönelik algıları çok boyutlu olarak ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, bireysel, kültürel ve ekonomik etkenlerin balık tüketimi üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcıların balık etini tercih etme nedenleri arasında en baskın etkenin lezzet olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bu çalışmada öğrencilerin %32,39'u balık etini lezzetli olduğu için tükettiğini belirtirken, %24,75'i dengeli ve sağlıklı olduğu için tercih ettiğini ifade etmiştir. Ayrıca %14,29 oranında aile kültürü, %9,86 tazelik, %7,85 ucuzluk ve ulaşılabilirlik, %4,02 kolay hazırlama/pişirme ve %6,84 diğer nedenler öne çıkmaktadır. Benzer şekilde Gürdal & Kayalı (2025)'in çalışmasında öğrencilerin %32,3'ü balığı lezzetli bulduğu için, %27,1'i dengeli ve sağlıklı beslenme amacıyla, %15,8'i aile kültürü etkisiyle, %11,7'si tazeliği, %6,3'ü kolay hazırlama/pişirme kolaylığı ve %4,1'i ise ucuz ve kolay ulaşılabilir olması nedeniyle tükettiğini belirtmiştir. Bu bulgular, özellikle aile yapısı, damak tadı ve pratiklik gibi faktörlerin öğrenciler üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Başka bir çalışmada ise öğrencilerin %36,5'i balığı lezzetli, %35,3'ü sağlıklı, %19,5'i ise besleyici bulduğu için tükettiğini belirtmiştir (Alageyik vd., 2020). Bu paralellikler, üniversite öğrencilerinin balık tüketimini hem damak tadı hem de sağlık bilinci temelinde şekillendirdiklerini göstermektedir.

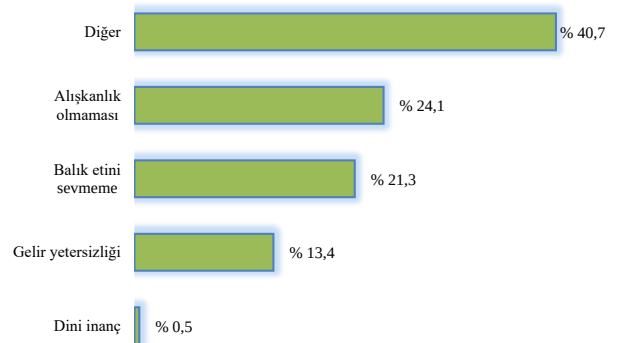
Balık tüketmeyen bireylerin gerekçeleri açısından da çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada katılımcıların %40,7'si "diğer" nedenleri belirtirken, %24,1'i alışkanlık eksikliği, %21,3'ü balık sevmeme, %13,4'ü gelir yetersizliği ve %0,5'i dini inançlar nedeniyle balık tüketmediğini ifade etmiştir (Şekil 3). Mersin

Üniversitesi öğrencileri ile yürütülen bir çalışmada (Alageyik vd., 2020) ise tüketmeme gerekçeleri arasında %25 alışkanlık olmaması, %23,5 koku, %19,1 tat ve %27,9 oranında diğer nedenler belirtilmiştir. Bu veriler, alışkanlık eksikliğinin ve duyuşal faktörlerin (tat, koku) balık tüketiminde önemli engeller olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla sadece sağlık bilinci oluşturmak yeterli olmayıp, balığa yönelik duyuşal toleransın artırılması da önem taşımaktadır.



Şekil 2. Katılımcıların balık tüketme nedeni.

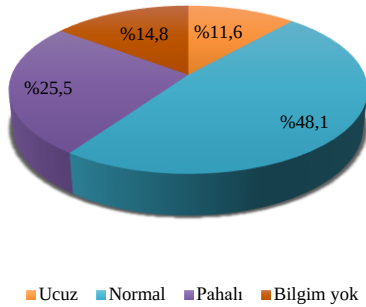
Figure 2. Reason for fish consumption among participants.



Şekil 3. Katılımcıların balık tüketmeme nedeni.

Figure 3. Reason for not consuming fish among participants.

Fiyat algısı açısından da benzer bir değerlendirme yapılabilir. Bu çalışmada katılımcıların %48,1'i balık fiyatlarını diğer et türlerine göre normal, %25,5'i pahalı, %11,6'sı ucuz olarak değerlendirmiş; %14,8'i ise konuya ilişkin bilgisi olmadığını belirtmiştir (Şekil 4). Gürdal & Kayalı (2025)'in çalışmasında ise fiyat algısı %47,3 normal, %32,1 pahalı, %9,8 ucuz ve %10,8 bilgi yok şeklinde dağılmıştır. Alageyik vd. (2020)'nin çalışmasında bu oranlar %42 normal, %32,2 pahalı ve %10 ucuz şeklindedir. Tüm bu veriler değerlendirildiğinde, öğrencilerin önemli bir kısmı balık fiyatlarını makul düzeyde bulurken, dörtte birinden fazlası için fiyat hâlâ bir engel olarak kalmaktadır. Ayrıca %10-15 aralığında değişen "bilgi sahibi olmama" oranı, fiyat algısının yalnızca gerçek maliyetle değil, bilinç düzeyiyle de ilişkili olduğunu göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmanın bulguları, üniversite öğrencilerinin balık tüketiminde lezzet, sağlık ve aile kültürü gibi olumlu etkenlerin yanı sıra alışkanlık eksikliği, duyuşal hassasiyet (tat/koku), ekonomik durum ve bilgi eksikliği gibi sınırlayıcı faktörlerin etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, balık tüketimini teşvik etmeye yönelik girişimlerin yalnızca sağlık temelli değil, aynı zamanda ekonomik, kültürel ve duyuşal faktörleri de dikkate alan bütüncül stratejilerle desteklenmesi gerekmektedir.

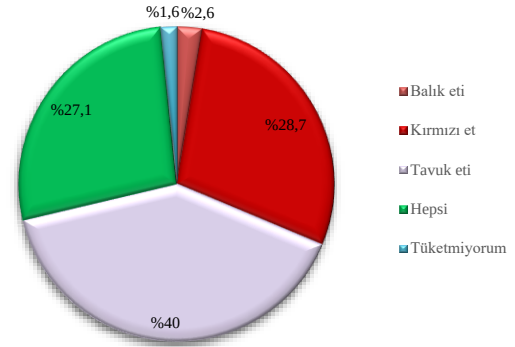


Şekil 4. Katılımcıların balık fiyatlarını diğer et türleriyle karşılaştırmalı değerlendirmelerine ilişkin yanıt dağılımı.

Figure 4. Participants' opinions on fish prices compared to other meat products.

Ankete katılım sağlayan öğrencilerin et tüketim tercihleri incelendiğinde, %40'ının tavuk eti, %28,7'sinin kırmızı et, %27,1'inin tüm et türlerini tükettiği, yalnızca %2,6'sının ise en çok balık eti tükettiği belirlenmiştir (Şekil 5). Araştırmaya katılan bireylerin %1,6'sı herhangi bir et türü tüketmediklerini bildirmiştir. Benzer şekilde, üniversite öğrencilerinin et tüketim tercihlerini inceleyen çalışmalarda da en fazla tercih edilen et türünün tavuk (kanatlı) eti olduğu, bunu sırasıyla kırmızı et ve balık etinin takip ettiği rapor edilmiştir (Alageyik vd., 2020; Gürdal & Kayalı, 2025). Türkiye'de 2023 yılı kişi başı toplam et tüketimi verilerine göre, kırmızı et tüketimi %46, kanatlı et

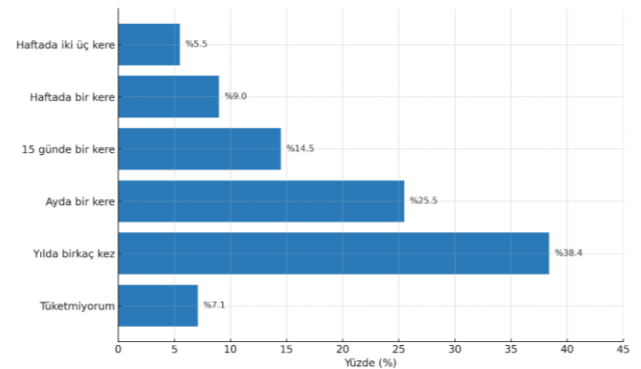
tüketimi %40 ve balık eti tüketimi ise %14 seviyesindedir (URL-2). Bu durum, üniversite öğrencilerinin daha ekonomik olan kanatlı et ürünlerine yöneldiğini göstermektedir. Sarı vd., (2019) tarafından yapılan başka bir araştırmada da en fazla tüketilen et türünün tavuk (piliç) eti (%46,67) olduğu; bunu balık eti (%28,33) ve kırmızı et (%24,44) tüketiminin izlediği bildirilmiştir.



Şekil 5. Katılımcıların en çok tercih ettiği et türü.

Figure 5. The most preferred type of meat by participants.

Ankete katılan öğrencilerin balık tüketim sıklığı incelendiğinde, %38,4'ünün yılda birkaç kez, %25,5'inin ayda bir kez, %14,5'inin on beş günde bir kez, %14,5'inin haftada bir veya birkaç kez ve %7,1'inin ise hiç balık tüketmediği belirlenmiştir (Şekil 6). TÜİK'in 2023 yılı verilerine göre Türkiye'de kişi başı yıllık balık tüketimi 7,2 kg'dır (TÜİK, 2024). Her ne kadar çalışmamızda tüketim miktarları ölçülmemiş olsa da, elde edilen sıklık verileri öğrenciler arasında balık tüketiminin görece düşük düzeyde olduğunu düşündürmektedir. Bu durumun, balığın diğer et türlerine göre hazırlanmasının zahmetli bulunması ya da alışkanlık eksikliği gibi nedenlerle ilişkilendirilebileceği değerlendirilmektedir. Literatürde yer alan benzer çalışmalarda da ayda bir balık tüketiminin en yaygın sıklık olduğu ve bu oranın %27,3 (Gürdal & Kayalı, 2025), %36,7 (Alageyik vd., 2020) ve %43,71 (Sarı vd., 2019) düzeyinde olduğu bildirilmektedir.

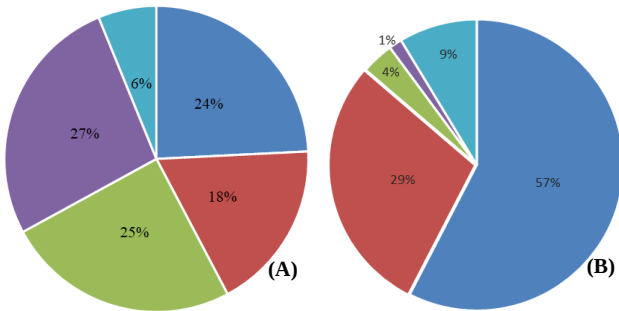


Şekil 6. Katılımcıların balık tüketme sıklığı.

Figure 6. Frequency of fish consumption among participants.

Evde kalan öğrencilerin (aile yanı veya kiralık ev) balık tüketim sıklığına ilişkin bulgular Şekil 7a'da, yurtta

kalan öğrencilerin (devlet ve özel yurt) tüketim sıklığı ise Şekil 7b’de sunulmuştur. Bu verilere göre, yurttan kalan öğrencilerin balık tüketim sıklığı, evde kalanlara kıyasla belirgin şekilde daha düşüktür. Evde kalan öğrencilerin %27’si haftada bir veya birkaç kez, %25’i ise 15 günde bir balık tükettiklerini belirtmiştir. Buna karşılık yurttan kalan öğrencilerin %57’si yalnızca yılda birkaç kez balık tükettiklerini ifade etmiştir. Bu farklılıkta en etkili faktörler arasında, yurtlarda kişisel yemek pişirme olanaklarının bulunmaması ve yurtların sunduğu yemek menülerinde balığın neredeyse hiç yer almaması öne çıkmaktadır. Ev ortamında kalan öğrencilerin ise hem pişirme imkânına sahip olmaları hem de aile etkisiyle daha düzenli balık tüketimine yöneldikleri anlaşılmaktadır. Bu bulgular, öğrencilerin barınma koşullarının balık tüketim alışkanlıkları üzerinde önemli bir belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan literatür taramasında, öğrencilerin barınma yerleri ile balık tüketim sıklığı arasındaki ilişkinin doğrudan incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, çalışmamız bu yöndeki ilk değerlendirmelerden biri olma niteliği taşımakta ve alana özgün bir katkı sunmaktadır.



Şekil 7. Öğrencilerin ikamet ettikleri yere göre balık tüketim sıklığına ilişkin yüzde dağılımı: evde yaşayanlar (A) ile yurttan kalanlar (B).

Figure 7. Percentage distribution of fish consumption frequency based on students' place of residence: those living at home (A) and in dormitories (B).

Şekil 8’de, katılımcıların yaşadıkları coğrafi bölgelere göre su ürünleri tüketim sıklığına ilişkin dağılımı gösteren veriler incelendiğinde, “yılda birkaç kez” seçeneğinin tüm bölgelerde en yüksek orana sahip olduğu dikkat çekmektedir. Bu oran en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla İç Anadolu (%77), Akdeniz (%75), Güneydoğu Anadolu (%70), Marmara (%64), Doğu Anadolu (%62), Ege (%44) ve Karadeniz (%22) bölgelerinde en fazla tercih edilen seçenek olduğu görülmektedir. Öte yandan, Karadeniz Bölgesi’nde “ayda bir kez” (%27), “15 günde bir kez” (%21), “haftada bir kez” (%13) ve “haftada 2-3 kez” (%8) gibi daha sık tüketim seçeneklerinin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek oranlarda tercih edildiği görülmektedir. Bu durum, Karadeniz’deki katılımcıların su ürünlerini daha düzenli tüketme eğiliminde olduklarını göstermektedir. Akdeniz Bölgesi’nin kıyı şeridinde sahip olması ve su ürünlerine erişimin görece kolay olması beklenenin aksine, katılımcıların büyük çoğunluğunun

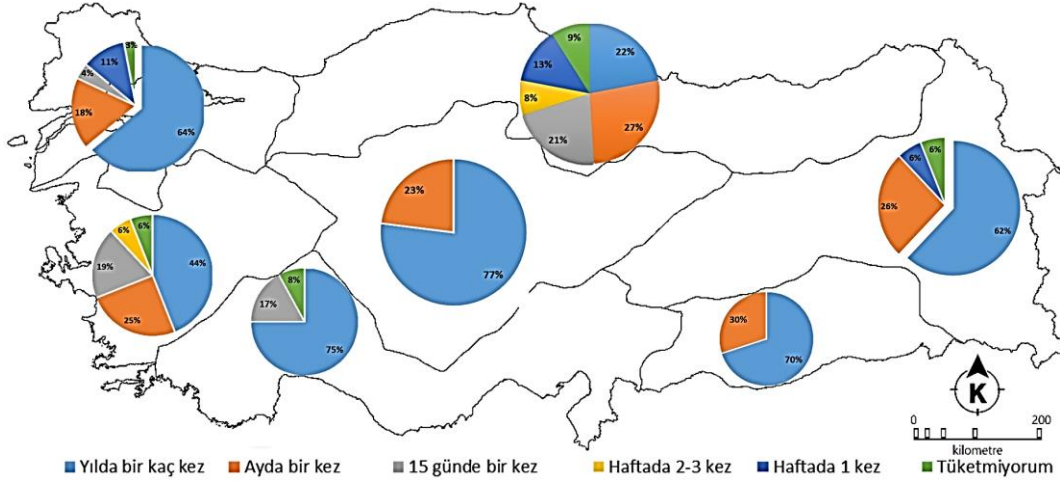
(%75) “yılda birkaç kez” tüketim sıklığını belirtmesi dikkat çekicidir. Bu durum, bölgedeki öğrenciler arasında su ürünlerine yönelik alışkanlıkların ve tüketim kültürünün, coğrafi konumla doğrudan orantılı olmadığını göstermektedir. Ayrıca, Akdeniz Bölgesi’nden katılımcı sayısının görece düşük olması, sosyoekonomik düzey, bireysel beslenme tercihleri ve bölgesel damak zevki gibi değişkenlerin de bu düşük tüketim sıklığında etkili olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, Karadeniz Bölgesi’nden katılımcı sayısının diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olması, bu bölgedeki tüketim sıklıklarının bölgesel eğilimleri daha sağlıklı yansıttığını göstermektedir. Nitekim bu bölgede su ürünlerinin geleneksel mutfakta önemli bir yere sahip olması, kültürel alışkanlıkların yanı sıra ekonomik ve çevresel etkenlerle birleşerek daha sık tüketimi teşvik eden temel faktörler arasında değerlendirilebilir. Genel olarak, kıyıya yakın bölgelerde (özellikle Karadeniz) su ürünleri tüketimi daha çeşitli sıklıklarda ve düzenli biçimde gerçekleşirken, iç ve doğu bölgelerde yıllık veya daha seyrek tüketim alışkanlığı ön plandadır. Bu farklılıklar; coğrafi erişim, kültürel alışkanlıklar ve bölgesel tüketim alışkanlıklarının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Öte yandan önceki çalışmalarda katılımcıların yaşadıkları bölgelere göre su ürünleri tüketim sıklığına ilişkin karşılaştırmalı verilere yer verilmediğinden, bu çalışmada elde edilen bulgular literatürle doğrudan kıyaslanamamıştır.

Ayrıca, öğrencilerin %60,1’i tükettikleri balık miktarını yeterli bulmazken, %31,5’i yeterli bulunduğunu belirtmiştir. Öğrencilerin et tüketim tercihleri ve balık tüketim sıklığına ilişkin önceki sorulara verdikleri yanıtlar dikkate alındığında, bu algının anlamlı olduğu değerlendirilmektedir. Benzer şekilde Gürdal & Kayalı (2025) tarafından yapılan çalışmada da üniversite öğrencilerinin %63’ünün tükettikleri balık miktarını yetersiz ve %28’inin ise yeterli bulduklarını bildirilmiştir. Bu bulgular, üniversite öğrencilerinin balık tüketimi konusunda farkındalıklarının bulunduğunu ancak çeşitli nedenlerle yeterli tüketimi sağlayamadıklarını göstermektedir.

Tablo 3’te sunulan veriler, katılımcıların su ürünlerinin faydalarına ilişkin bilgi edinme kaynaklarına dair önemli bulguları ortaya koymaktadır. En yüksek oran, %31,29 ile sosyal çevreden alınan bilgiler olarak belirlenmiş olup, bu durum katılımcıların bilgi edinme sürecinde sosyal iletişim ve birebir bilgi aktarımının ön plana çıktığını göstermektedir. Ayrıca, mobil cihazların kullanımı %22,26 ile önemli bir diğer bilgi kaynağıdır. Bu bulgu, dijital teknolojilerin günümüzde bilgi erişiminde kritik bir rol oynadığını ve bireylerin çevrimiçi kaynaklardan aktif bir şekilde faydalandığını ortaya koymaktadır. Televizyon ise %16,13 oranıyla geleneksel medya araçlarının hâlâ etkili bir bilgi kaynağı olduğunu

göstermektedir. Kitap ve dergi gibi yazılı materyaller ise %14,19 ile diğer önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, %5,6 oranındaki "bilgim yok" yanıtı, bazı katılımcıların bilgi seviyelerinde farkındalık eksikliği veya bilgiye erişimde zorluk yaşadıklarını göstermektedir. Bu veriler, katılımcıların su ürünlerinin faydalarına dair bilgi

ediniminde sosyal ve dijital kaynakların etkili olduğunu, geleneksel medya ve yazılı materyallerin ise diğer önemli bilgi araçları olarak yer aldığını desteklemektedir. Ayrıca, bilgi erişim kaynaklarının belirlenmesi, tüketici bilincinin artırılması ve eğitim programlarının tasarımı açısından da önemli çıkarımlar sağlayabilir.

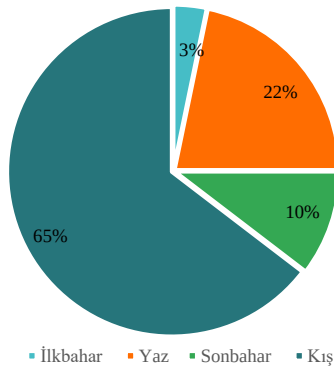


Şekil 8. Katılımcıların yaşadıkları coğrafi bölgelere göre su ürünleri tüketim oranları.
Figure 8. Seafood consumption rates by geographical regions of residence.

Tablo 3. Katılımcıların su ürünlerinin faydalarına ilişkin bilgileri edindikleri kaynaklara yönelik yanıtların dağılımı.

Table 3. Participants' sources of information about the health benefits of seafood.

	N	%
Televizyon	50	16,13
Bilgisayar	34	10,97
Mobil cihazlar	69	22,26
Sosyal çevre	97	31,29
Kitap, dergi vs.	44	14,19
Bilgim yok	16	5,16



Şekil 9. Katılımcıların su ürünlerini en çok tükettikleri mevsime göre yanıt dağılımı.

Figure 9. Season in which participants most frequently consume seafood.

"En çok hangi mevsimde balık tüketiyorsunuz?" sorusuna katılımcıların %65'i "Kış", %22'si "Yaz", %10'u "Sonbahar" ve %3'ü "İlkbahar" yanıtını vermiştir (Şekil 9). Bu sonuçlar, balık tüketiminin büyük ölçüde kış mevsiminde yoğunlaştığını göstermektedir. 2024 yılında Yalova Üniversitesi öğrencileriyle yapılan benzer bir çalışmada da benzer bir eğilim gözlenmiştir; katılımcıların %69'u kış, %20'si yaz, %8'i sonbahar ve %3'ü ilkbahar cevabını vermiştir (Gürdal & Kayalı, 2025). Mersin

Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise katılımcıların %41,7'si kış, %15,6'sı yaz, %6'sı sonbahar, %3,5'i ilkbahar ve %33'ü ise "fark etmez" şeklinde yanıtlamıştır (Alageyik vd., 2020). Türkiye'de 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu kapsamında 1 Nisan – 1 Eylül tarihleri arasında uygulanan av yasağı göz önünde bulundurulduğunda, kış mevsiminde balık tüketiminin artış göstermesi beklenen ve anlamlı bir sonuç olarak değerlendirilmektedir.

Katılımcıların balık satın alırken dikkat ettikleri ilk hususun %74,43 gibi yüksek bir oranla "tazelik" olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, %6,15'i fiyatı, %6,15'i lezzeti, %4,85'i ürünün temizlenmiş olmasını, %4,21'i az kılçıklı olmasını ve %4,21'i ise balığın genel görünümünü öncelikli kriter olarak ifade etmiştir (Tablo 4). Farklı üniversitelerde yapılan benzer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir; örneğin, Gürdal ve Kayalı (2025)'in çalışmasında öğrencilerin %33'ü, Sarı vd., (2019)'nin çalışmasında ise %83,78'i tazeliği en önemli kriter olarak belirtmiştir. Bu bulgular, balığın çabuk bozulabilen ve mikroorganizmalara karşı hassas bir gıda olması nedeniyle tüketicilerin özellikle tazelik konusunda duyarlı davrandıklarını ortaya koymaktadır. Ayrıca, taze balığın hem sağlık açısından daha güvenli olduğu hem de lezzet ve besin değeri bakımından daha tercih edilir bulunduğu bilinmektedir. Bu nedenle, tazelik unsuru yalnızca hijyenik bir zorunluluk değil, aynı zamanda tüketici davranışlarını yönlendiren temel bir kalite göstergesi olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 4. Katılımcıların balık satın alırken önem verdikleri öncelikli unsura göre yanıt dağılımı

Table 4. Participants' most important consideration when buying fish.	N	%
Tazelik	230	74,43
Fiyat	19	6,15
Görünüm	13	4,21
Az kılçıklı olması	13	4,21
Temizlenmiş ürün	15	4,85
Lezzet	19	6,15

Katılımcıların balık satın alırken balığın tazeliğini anlamak için dikkat ettikleri kriterler arasında, %26,1 ile en yüksek oranda balığın gözleri olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 10). Bu bulgu, tüketicilerin tazelik ve kaliteyi öncelikle görsel yollarla değerlendirdiklerini ve gözlerin bu açıdan güven verici bir unsur olarak öne çıktığını göstermektedir. Özellikle balığın rengi veya solungaçları gibi bazı özelliklerinde yapay müdahalelerle hile yapılabilmesi mümkünken, gözlerde bu tür müdahalelerin daha zor olması, tüketicilerin en az manipülasyona açık olan kriteri öncelikli olarak değerlendirmesini anlamlı kılmaktadır. Bu durum, tüketicilerin taze balık seçiminde nispeten daha güvenilir ve sağlıklı bir değerlendirme ölçütüne yöneldiklerini ve bu farkındalığın yaygınlaşmasının umut verici olduğunu göstermektedir. İkinci sırada %15,3 ile satıcı tavsiyesi yer almakta olup, bu durum tüketicilerin güvendikleri ya da deneyimli buldukları satıcıların görüşlerine değer verdiklerini ortaya koymaktadır. Balığın kokusu ise %13 oranında önemli görülmüş ve bu kriterin, ürünün bozulup bozulmadığını anlamada temel bir gösterge olarak değerlendirildiği anlaşılmaktadır. Renk ve solungaçlar da sırasıyla yaklaşık %12 oranında tercih edilmiştir. Bu durum, tüketicilerin balığın kalitesini değerlendirirken yalnızca görsel değil, aynı zamanda dokunsal ve duysal unsurları da dikkate aldıklarını göstermektedir. Elde edilen bulgular, tüketicilerin tazelik ve kaliteye dair daha bütüncül bir değerlendirme yaptıklarını, görsel ipuçlarının yanı sıra koku ve satıcı deneyimi gibi farklı faktörleri de dikkate aldıklarını ortaya koymaktadır.

**Şekil 10.** Katılımcıların balığın tazeliğini değerlendirirken ilk dikkat ettikleri unsura göre yanıt dağılımı.**Figure 10.** Participants' primary cues for evaluating fish freshness during purchase.

Ankete katılan öğrencilerin “en çok tükettiğiniz balık türü” sorusuna verdikleri yanıtlara göre, %54,2’si

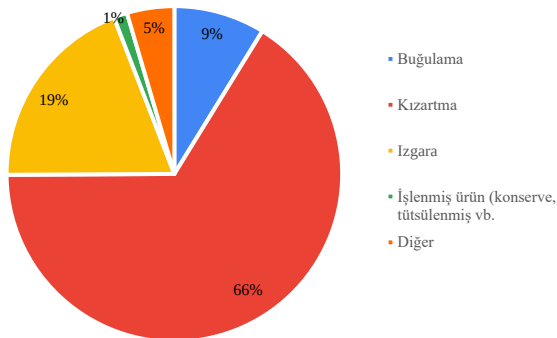
hamsi, %12,7’si palamut, %8,5’i alabalık, %5,6’sı mezigit, %3,9’u istavrit, %2,6’sı levrek, %1,3’ü kefal, %1’i çipura ve %0,3’ü çinekop tükettiklerini belirtmiştir. Ayrıca %9,8’lik bir oran, ankette yer almayan diğer türleri tercih ettiklerini ifade etmiştir (Tablo 5). Yalova Üniversitesi’nde gerçekleştirilen benzer bir ankette, öğrencilerin en çok tükettikleri balık türlerinin sırasıyla %24,9 ile hamsi, %14,6 ile palamut ve %11,2 ile istavrit olduğu bildirilmiştir (Gürdal & Kayalı, 2025). Yalova Üniversitesi öğrencileriyle yapılan bir diğer çalışmada ise hamsi %27,6, levrek %18,7 ve çipura %17,4 oranlarıyla öne çıkmıştır (Alageyik vd., 2020). Bu çalışmalar arasında görülen oransal farklılıklar; öğrencilerin yaşadıkları bölgelere göre balık türlerine erişim olanakları, bölgesel avcılık yoğunluğu ve kültürel beslenme alışkanlıkları ile ilişkilendirilebilir. Her üç çalışmada da hamsi tüketiminin ilk sırada yer alması, 2023 yılı TÜİK verilerine (TÜİK, 2024) göre hamsinin Türkiye genelinde en çok avlanan balık türü olmasıyla doğrudan ilişkilendirilebilir. Hem ekonomik erişilebilirliği hem de yaygın bulunabilirliği, hamsiyi üniversite öğrencileri açısından da en çok tercih edilen tür haline getirmiştir. Karadeniz ve Marmara bölgelerinde yapılan çalışmalarda palamut balığının da üst sıralarda yer alması, bu türün de bölgesel avcılık faaliyetleri ve mevsimsel bollukla bağlantılı olarak öne çıktığını göstermektedir. Diğer balık türlerine yönelik tercihlerin farklılık göstermesi ise, öğrencilerin yaşadığı bölgedeki pazar erişimi, kültürel beslenme alışkanlıkları ve tüketim alışkanlıklarının çeşitliliğiyle açıklanabilir. Ayrıca, hamsi ve palamut gibi türlerin genellikle kış aylarında avlanıyor olması ve öğrencilerin bu mevsimde balık tüketimini artırdıklarını belirtmeleri, mevsimsel faktörlerin de tüketim tercihleri üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Katılımcıların en çok tükettikleri balık türüne ilişkin yanıt dağılımı.**Table 5.** Distribution of responses regarding the fish species most frequently consumed by the participants.

Balık türü	N	%
Hamsi	166	54,2
Palamut	39	12,7
Diğer	30	9,8
Alabalık	26	8,5
Mezigit	17	5,6
İstavrit	12	3,9
Levrek	8	2,6
Kefal	4	1,3
Çipura	3	1,0
Çinekop	1	0,3
Sardalya	0	-
Lüfer	0	-

Ankete katılan öğrencilerin balık pişirme tercihlerine bakıldığında, %66’sı kızartmayı ilk sırada tercih ettiğini belirtmiştir. Bunu sırasıyla %19 ile ızgara, %9 ile buğulama, %5 ile diğer yöntemler ve %1 ile işlenmiş ürün tüketimi takip etmektedir (Şekil 11). Bu sonuçlar, daha önce yürütülen benzer çalışmalarda elde edilen bulgularla örtüşmektedir. Örneğin, Alageyik vd., (2020) ile Gürdal & Kayalı, (2025) tarafından

gerçekleştirilen çalışmalarda da en sık tercih edilen balık pişirme yöntemleri sırasıyla kızartma, ızgara ve buğulama olarak rapor edilmiştir. Kızartmanın öncelikli tercih edilmesi, hem pratikliği hem de damak tadına hitap etmesi bakımından açıklanabilir. Aynı zamanda, işlenmiş balık ürünlerine olan düşük yönelim bu çalışmalarda da benzer biçimde gözlenmiş, Türkiye’de taze ve geleneksel pişirme yöntemlerinin halen yaygın olarak tercih edildiğine işaret etmiştir. Öğrencilere yöneltilen “İşlenmiş balık (konserve, tütülenmiş vb.) tüketiyor musunuz?” sorusuna verilen yanıtların %71,5’i “Hayır” ve %28,5’i “Evet” şeklinde olmuştur. Bu sonuç, öğrencilerin balık satın alma ve tüketim biçimiyle ilgili bir diğer soruya verdikleri yanıtlarla da örtüşmektedir; zira katılımcıların %86,2’si balığı taze olarak tüketmeyi tercih ettiğini belirtmiştir. Yalova Üniversitesi öğrencileriyle yapılan benzer bir çalışmada, işlenmiş balık tüketimine yönelik olarak %58,1 oranında “Hayır” ve %41,9 oranında “Evet” yanıtı verilmiştir (Gürdal & Kayalı, 2025). Mersin Üniversitesi’nde yürütülen bir başka çalışmada ise öğrencilerin taze balık tüketim oranı %89,4 gibi yüksek bir seviyede rapor edilmiştir (Alageyik vd., 2020). Farklı bölgelerde yürütülen çalışmalar incelendiğinde, üniversite öğrencilerinin işlenmiş balık ürünlerine yönelik yaklaşımının büyük ölçüde benzerlik gösterdiği görülmektedir. Türkiye’de genel olarak balığın taze olarak tüketilmesine yönelik bir eğilim bulunmakta, işlenmiş ürünlere karşı damak tadı alışkanlıkları bakımından görece daha kapalı bir yaklaşım sergilenmektedir. Bu durum, işlenmiş balık ürünlerine olan talebin düşük kalmasını açıklayan kültürel bir unsur olarak değerlendirilebilir.



Şekil 11. Katılımcıların balık pişirme yönteminde öncelikli tercihinin ilişkin yanıt dağılımı.

Figure 11. Distribution of responses regarding participants' primary preference in fish cooking methods.

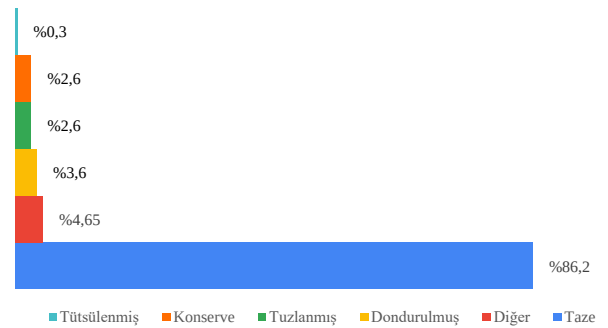
"Balığı genellikle nereden satın alırsınız?" sorusuna katılımcıların %60,5'i balıkçıdan, %17,5'i balık halinden, %7,1'i seyyar satıcılardan, %2,6'sı marketten, %4,2'si balığı kendisinin avladığını, %5,2'si balık satın almadığını, %2,9'u ise "diğer" seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 6). Benzer şekilde, önceki araştırmalarda da balık satın alma davranışının en yaygın şekilde balıkçıdan gerçekleştiği bildirilmiştir. Örneğin Gürdal & Kayalı

(2025), bu oranın %46,4 olduğunu rapor ederken; Yavuzcan vd., (2010) %57 olarak belirtmiştir.

Tablo 6. Katılımcıların balık satın alma yerlerine ilişkin tercih dağılımı.
Table 6. Distribution of participants' preferences for places where they purchase fish.

	N	%
Balık halinden	54	17,5
Seyyar satıcıdan	22	7,1
Marketten	8	2,6
Balıkçıdan	187	60,5
Kendim avlanm	13	4,2
Satın almam	16	5,2
Diğer	9	2,9

"Genellikle balığı hangi şekilde satın alırsınız?" sorusuna katılımcıların %86,2'si "taze" yanıtını verirken, bunu sırasıyla %4,6 ile "diğer", %3,6 ile "dondurulmuş", %2,6 ile "tuzlanmış", %2,6 ile "konserve" ve %0,3 ile "tütülenmiş" seçenekleri takip etmiştir (Şekil 12). Benzer şekilde, Alageyik vd., (2020)'nin yaptığı çalışmada katılımcıların %89,4'ü, Olgunoğlu vd., (2020)'nin çalışmasında ise katılımcıların %92,77'si balığı taze olarak tercih ettiğini belirtmiştir. Farklı bölgelerden katılımcıların verdiği yanıtların büyük ölçüde benzerlik göstermesi, bu tercihin genel bir eğilim olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca, öğrencilerin büyük çoğunluğunun işlenmiş balık tüketmediğini belirttiği başka bir sorunun bulgusu da bu sonucu desteklemektedir. Türkiye’de balığın genel olarak taze olarak tüketildiği bilinmekte olup, işlenmiş balık ürünlerine yönelik tüketici bakışı istenen düzeyde değildir.

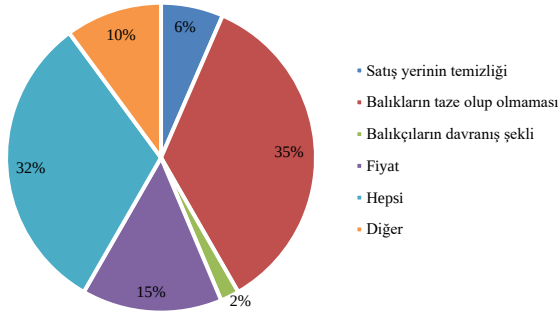


Şekil 12. Katılımcıların balık satın alma ve tüketim şekillerine ilişkin yanıt dağılımı.

Figure 12. Distribution of responses regarding participants' fish purchasing and consumption habits.

Şekil 13, katılımcıların balık satın almasını olumsuz etkileyen faktörlerin yanıt dağılımını göstermektedir. İncelenen verilere göre, katılımcıların balık satın alma kararlarını olumsuz yönde etkileyen en önemli faktörler tespit edilmiştir. Paylaşılan verilere göre, katılımcıların %35'i, balıkların taze olup olmaması doğrultusunda en önemli etkenin olduğunu belirtmiştir. Bu, balık kalitesi ve tazeliğin satın alma kararında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, %32'lik bir kısım tüm faktörlerin birlikte etkili olduğunu ifade ederken, %15'i fiyatın olumsuz etkisi altında olduğunu belirtmiştir. Diğer faktörler arasında satış yerinin temizliği %6,

balıkçıların davranış şekli %2 ve çeşitli diğer unsurlar %10 oranında yer almaktadır. Bu oranlar, tazelik ve güvenilirliğin balık satın alma sürecinde en kritik unsurlar olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, fiyatın da önemli bir etken olduğu görülmektedir.



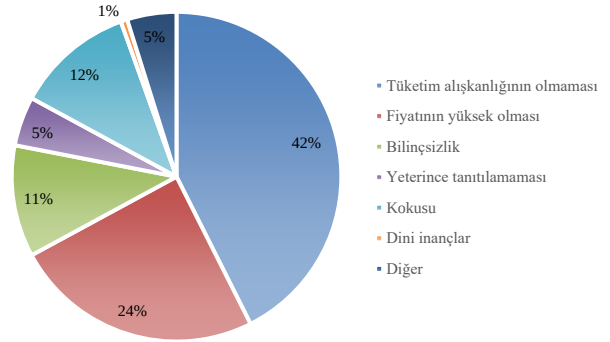
Şekil 13. Katılımcıların balık satın almasını olumsuz etkileyen faktörlere ilişkin yanıt dağılımı.

Figure 13. Distribution of responses regarding the factors negatively affecting participants' fish purchasing behavior.

Katılımcıların su ürünleri tüketmemelerinin nedenlerine ilişkin veriler incelendiğinde, en yüksek oranın (%42) “tüketim alışkanlığının olmaması” seçeneğinde toplandığı görülmektedir (Şekil 14). Bu durum, bireylerin çocukluk döneminden itibaren edindikleri beslenme alışkanlıklarının, su ürünleri tüketiminde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Katılımcıların %24’ü ise su ürünlerini tüketmeme gerekçesi olarak “fiyatının yüksek olmasını” belirtmiştir. Bu oran, ekonomik koşulların ve su ürünlerinin bazı bölgelerde diğer protein kaynaklarına kıyasla daha pahalı olmasının, tüketim davranışını doğrudan etkileyebileceğine işaret etmektedir. Bunun yanı sıra, “bilinçsizlik” (%11), “koku” (%12) ve “yeterince tanıtılmaması” (%5) gibi faktörler de dikkat çekici nedenler arasında yer almakta, su ürünlerine yönelik bilgi eksikliği ve duyuşal özelliklerin tüketimi sınırlandırabileceğini ortaya koymaktadır. Dini inançlar ise yalnızca %1 oranında belirtilmiş olup, örneklem grubunda bu faktörün belirleyici olmadığı anlaşılmaktadır. Elde edilen veriler, su ürünlerinin tüketiminin artırılabilmesi için hem ekonomik erişilebilirliğin sağlanması hem de farkındalık artırıcı eğitim ve tanıtım faaliyetlerinin yaygınlaştırılması gerektiğine işaret etmektedir.

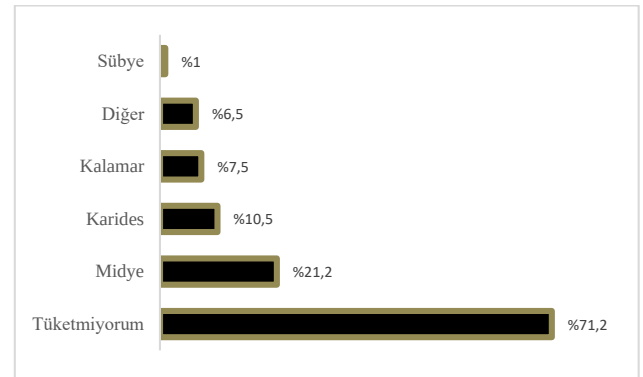
“Balık dışında diğer su ürünlerini tüketiyor musunuz?” sorusuna öğrencilerin %71,2’si “tüketmiyorum” yanıtını verirken, %21,2’si midye, %10,5’i karides, %7,5’i kalamar, %1’i sübye ve %6,5’i “diğer” yanıtını vermiştir (Şekil 15). Aynı soruya, 2024 yılında Yalova Üniversitesi’nde 315 öğrenci ile gerçekleştirilen benzer bir çalışmada ise öğrencilerin %31,2’si “tüketmiyorum”, %32,6’sı midye, %18,7’si karides, %14,2’si kalamar, %2,5’i sübye ve %0,9’u “diğer” cevabını vermiştir (Gürdal & Kayalı, 2025). Ayrıca, 2019

yılında Mersin Üniversitesi’nde yapılan bir ankette, katılımcıların %41,9’u midye, %33,6’sı diğer, %12,7’si kalamar, %8,99’u karides, %1,5’i ahtapot ve %1,5’i ıstakoz tükettiklerini belirtmiştir (Alageyik vd., 2020). Üç farklı bölgedeki üniversite öğrencilerinin su ürünleri tüketim alışkanlıklarının değerlendirildiği bu çalışmalar incelendiğinde, Türkiye’nin batı ve güney bölgelerinde balık dışındaki su ürünlerinin, özellikle de midyenin, daha yaygın olarak tüketildiği dikkat çekmektedir.



Şekil 14. Katılımcıların su ürünlerini hiç ya da az tüketme nedenlerine ilişkin yanıt dağılımı.

Figure 14. Distribution of responses regarding the reasons why participants consume seafood rarely or not at all.



Şekil 15. Katılımcıların balık dışında tükettikleri diğer su ürünlerine ilişkin yanıt dağılımı.

Figure 15. Distribution of responses regarding other seafood consumed by participants besides fish.

Sonuç olarak, üniversite öğrencilerinin su ürünleri tüketim alışkanlıklarının genel olarak yetersiz ve düzensiz olduğunu ortaya konulmuştur. Katılımcıların büyük çoğunluğu balığı “yılda birkaç kez” tükettiklerini belirtmiş; bu tüketim sıklığının özellikle Karadeniz Bölgesi dışındaki öğrencilerde oldukça sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Balık tüketiminin en yoğun olduğu dönemin kış mevsimi olduğu, en çok tercih edilen türün ise hamsi olduğu belirlenmiştir. Tüketim tercihlerinde en önemli kriterin “tazelik” olduğu saptanırken, satın alma yerleri olarak çoğunlukla balıkçıları tercih edilmektedir. Ayrıca öğrencilerin önemli bir kısmı işlenmiş balık ürünlerine mesafeli yaklaşmakta ve taze balık tüketimini ön planda tutmaktadır. Özellikle yurtdışı kalan öğrenciler arasında balık tüketiminin daha da sınırlı olduğu dikkat

çekmektedir. Yurtta yemek hazırlama olanaklarının kısıtlı olması, pişirme kokusu gibi nedenlerle balık tüketiminin evde kalan öğrencilere göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, öğrencilerin geldikleri coğrafi bölgelere göre balık tüketim alışkanlıklarının anlamlı düzeyde farklılık gösterdiği; Karadeniz Bölgesi kökenli öğrencilerin diğer bölgelere kıyasla daha sık ve bilinçli tüketime sahip olduğu saptanmıştır. Katılımcıların büyük bir kısmı tükettikleri balık miktarını yetersiz bulmakta; bu durum, balık tüketimine ilişkin genel bir farkındalığın mevcut olduğunu ancak uygulamada çeşitli fiziksel, ekonomik ve kültürel engellerin varlığını ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

-Üniversitelerde su ürünlerinin besin değeri ve sağlık açısından önemi hakkında bilgilendirici seminerler, afiş kampanyaları ve tanıtım etkinlikleri düzenlenmelidir.

-Kampüs içerisinde veya çevresinde uygun fiyatlı ve taze balık temin edilebilecek satış noktalarının oluşturulması desteklenmelidir.

-İşlenmiş ve dondurulmuş balık ürünlerinin sağlıklı, güvenilir ve pratik alternatifler olduğu konusunda öğrencilere bilgi verilmelidir.

-Yerel balık türleri ve geleneksel pişirme yöntemlerini tanıtan atölye ve etkinliklerle kültürel farkındalık artırılabilir.

-Gelir düzeyi düşük öğrencilere yönelik olarak balık tüketimini teşvik edici indirimli satışlar, yemek bursları gibi destek programları geliştirilmelidir.

-Yurtlarda kalan öğrencilerin balık tüketimini destekleyecek şekilde merkezi yemek programlarında su ürünlerine daha fazla yer verilmeli, kokusuz ve pratik hazırlanabilir ürün seçenekleri sunulmalıdır.

Sonuç olarak, üniversite öğrencileri arasında balık tüketiminin artırılması; farkındalığı artıran eğitim faaliyetleri, fiziksel ve ekonomik erişimin kolaylaştırılması, barınma koşullarına uygun tüketim çözümleri ve kültürel farklılıkların dikkate alındığı çok yönlü stratejilerle mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Araştırmamıza gönüllü olarak katılan ve değerli katkılar sağlayan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi öğrencilerine minnettarız.

Etik Kurul Onayı: Bu makalede yer alan anket çalışması için “Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulunun 12.02.2025 tarihli ve 2025/051 protokol numaralı kararı ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

Yazar Katkısı: **B.K.**, Metodoloji, Veri işleme, Yazma-İnceleme ve Düzenleme; **M.T.**, Metodoloji, Veri toplama.

Çıkar Çatışması: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Alageyik, M., Çiftçi, N., & Ayas, D. (2020).** Seafood consumption preferences of university student and factors affecting preferences: The case of Mersin University. *Acta Natura et Scientia*, *1*(1), 43-55. DOI: [10.29329/actanatsci.2020.313.6](https://doi.org/10.29329/actanatsci.2020.313.6)
- Arıca, Ş.Ç. (2017).** Hatay ilinde, İskenderun halkının balıkçılık ürünleri tüketim alışkanlığı ve tercihlerinin belirlenmesi. *Aquaculture Studies*, *17*(3), 233-243. DOI: [10.17693/yunusae.vi.311009](https://doi.org/10.17693/yunusae.vi.311009)
- Balık, İ., Yardımcı, C., & Turhan, O. (2013).** Ordu ili Fatsa ve Aybastı ilçelerinde balık tüketim alışkanlıklarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *3*(2), 18-28.
- Bolat, Y., & Cevher, H. (2018).** Konya ili (Türkiye) su ürünleri tüketim alışkanlıkları üzerine bir anket çalışması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, *14*(3), 241-252. DOI: [10.22392/egirdir.398151](https://doi.org/10.22392/egirdir.398151)
- Bolat, Y., & Telli, Ö. (2019).** Denizli ili su ürünleri tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Acta Aquatica Turcica*, *15*(1), 80-90. DOI: [10.22392/egirdir.446836](https://doi.org/10.22392/egirdir.446836)
- Cengiz, D., & Özoğul, F. (2019).** Adana ve Mersin illerinde su ürünleri tüketimi anket çalışması. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *37*(1), 159-168.
- Çağlak, E., & Karslı, B. (2017).** Seasonal variation of fatty acid and amino acid compositions in the muscle tissue of zander (*Sander Lucioperca Linnaeus, 1758*) and the evaluation of important indexes related to human health. *Italian Journal of Food Science*, *29*(2), 266-275. DOI: [10.14674/1120-1770/ijfs.v576](https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v576)
- Çağlak, E., Karşı, B., & Koral, S. (2015).** Effects of different processing techniques on the carpet shell (*Ruditapes decussatus Linnaeus, 1758*). *Journal of Food Safety and Food Quality*, *66*(5), 141-148. DOI: [10.2376/0003-925X-66-141](https://doi.org/10.2376/0003-925X-66-141)
- Çiçek, E., Akgün, H., & İlhan S. (2014).** Elazığ ili balık eti tüketim alışkanlığı ve tercihinin belirlenmesi. *Aquaculture Studies*, *2014*(1), 1-11. DOI: [10.17693/yunus.21364](https://doi.org/10.17693/yunus.21364)
- Durna, M.K., Şeker, E., & Kuzgun, N.K. (2023).** Tunceli (Pertek ve Çemişgezek) ile Elazığ (Keban ve Sivrice) ilçelerinde balık tüketim alışkanlıklarının araştırılması ve karşılaştırılması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, *9*(2), 422-433. DOI: [10.29132/ijpas.1364307](https://doi.org/10.29132/ijpas.1364307)

- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024–Blue Transformation in action. Rome. DOI: 10.4060/cd0683en, Erişim tarihi: 02.05.2025.
- FAOSTAT. (2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>, Erişim tarihi: 02.05.2025.
- Gürdal A.A., & Kayalı S. (2025). Yalova Üniversitesi öğrencilerinin su ürünleri tüketim alışkanlıklarının değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(2), 327-338. DOI: 10.24925/turjaf.v13i2.327-338.7155
- Gürel, E., Doğan, H.G., Polat, S., Yeşilayer, N., & Buhan, E. (2017). Ağrı ili merkez ilçede yaşayan bireylerin balık tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 27-35.
- Issac, M.N., & Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19544–19562. DOI: 10.1007/s11356-021-13184-2
- Kaplan, E., Buhan, E., & Yeşilayer, N. (2019). Mardin ilinde balık tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi: Kızıltepe ilçesi örneği. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 8(1), 59-73.
- Karakulak, Y., Arslan, G., & Yanık, T. (2020). Erzurum ili merkez ilçelerinin su ürünleri tüketim davranışları üzerine araştırmalar. *Acta Aquatica Turcica*, 16(2), 290-300. DOI: 10.22392/actaquatr.669336
- Karakuş, K., Aygün, T., & Alarşan, E. (2008). Gaziantep ili merkez ilçede kırmızı et tüketim alışkanlıkları. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 18(2), 113-120.
- Karslı, B., Caglak, E., & Prinyawiwatkul, W. (2021). Effect of high molecular weight chitosan coating on quality and shelf life of refrigerated channel catfish filets. *LWT*, 142, 111034. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111034
- Kuşat, M., & Şahan, M. (2021). Su ürünleri tüketim tercihleri üzerine Uşak ilinde bir anket çalışması. *Acta Aquatica Turcica*, 17(3), 376-385. DOI: 10.22392/actaquatr.848663
- Kuzgun, N.K., & Demirbağ, A. (2018). Palu ilçesi balık tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi, Harput Uygulama ve Araştırma Merkezi, Uluslararası Palu Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 205-212.
- Olgunoğlu, İ.A., Olgunoğlu, M.P., & Ukav, İ. (2020). An examination of fish consumption habits of vocational school students (the model of Kahta vocational school) *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(8), 1668-1674. DOI: 10.24925/turjaf.v8i8.1668-1674.3425
- Sarı, H.A., Özüğür, A.K., Gökdağ, Ö., & Atay, O. (2019). Öğrencilerin balık eti tüketim düzeyleri ve tüketim alışkanlıklarının belirlenmesinde Çine MYO örneği. *Mesleki Bilimleri Dergisi*, 8(2), 57-63.
- Saygı, H., Bayhan, B., & Hekimoğlu, M.A. (2015). Türkiye'nin İzmir ve Ankara illerinde su ürünleri tüketimi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(5), 248-254. DOI: 10.24925/turjaf.v3i5.248-254.258
- Selvi, K., Kaya, B., Özdikmenli Tepeli, S., & Kandemir, G. (2022). Çanakkale'nin Yenice ve Bayramiç ilçelerinde su ürünleri tüketiminin değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 18(1), 93-108. DOI: 10.22392/actaquatr.991184
- Şimşek, N., & Arslan, G. (2024). Researches on seafood consumption behaviors in Kütahya province. *Journal of Agricultural Production*, 5(2), 106-120. DOI: 10.56430/japro.1459264
- Terin, M., & İnaç, S. (2023). Hakkâri ili Yüksekova ilçesinde balık tüketim yapısı ve tercihleri üzerine bir araştırma. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(2), 398-409. DOI: 10.30910/turkjans.1248871
- TÜİK. (2024). Su Ürünleri İstatistikleri <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>, Erişim tarihi: 02.05.2025.
- URL-1. (2025). Vikipedi. *Türkiye coğrafyası*. https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_co%C4%9Frafyas%C4%B1#cite_note-0-4_, Erişim tarihi: 07.05.2025.
- URL-2. (2024). Et ve süt kurumu 2023 yılı sektör raporu. https://www.esk.gov.tr/upload/Node/10255/files/ESK_2023_Yili_Sektor_Raporu_.pdf (Erişim tarihi: 07.05.2025).
- Uzundumlu, A.S., & Dinçel, E. (2015). Trabzon ili Beşikdüzü ilçesinde balık eti tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 29(2), 1-11.
- Yavuzcan, H., Atar, H.H., & Alçiçek, Z. (2010). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi öğrencilerinin su ürünleri tüketim alışkanlıklarının değerlendirilmesi. *Ziraat Mühendisliği*, 354, 10-17.
- Yıldırım, R. (2020). *Türkiye'deki su ürünleri ile ilgili yüksek öğretim kurumlarındaki akademisyenlerin su ürünleri tüketim alışkanlıklarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 70s.
- Yüksel, E., & Diler, A. (2019). Ankara ilinde su ürünleri tüketim tercihlerinin belirlenmesi. *Aydın Gastronomy*, 3(1), 11-21.

Evaluation of Bee Venom-Induced Toxicity: Toxicity and Management

Sidika GENC¹ Kubra KARABULUT¹ Esmanur NİGDE¹ Sevval BUYUKGOCMEN¹
Ali TAGHİZADEHGHALEHJOUGHİ^{1*}

¹Department of Medical Pharmacology, Faculty of Medicine, Şeyh Edebali University, 11000 Bilecik, Turkey

Received: 15.03.2025

Accepted: 21.07.2025

Published: 31.07.2025

How to cite: Genc, S., Karabulut, K., Nigde, E., Buyukgocmen, S., & Taghizadehghalehjoughi, A. (2025). Evaluation of bee venom-induced toxicity: Toxicity and management. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 514-520. <https://doi.org/10.35229/jaes.1658697>

Atıf yapmak için: Genc, S., Karabulut, K., Nigde, E., Buyukgocmen, S., & Taghizadehghalehjoughi, A. (2025). Arı zehri kaynaklı toksisitenin değerlendirilmesi: Toksikite ve yönetim. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 514-520. <https://doi.org/10.35229/jaes.1658697>

 <https://orcid.org/0000-0003-0000-5103>
 <https://orcid.org/0009-0002-7052-6086>
 <https://orcid.org/0009-0004-6007-472X>
 <https://orcid.org/0009-0005-7680-363X>
 <https://orcid.org/0000-0002-3506-0324>

***Corresponding author's:**

Ali Taghizadehghalehjoughi
Department of Medical Pharmacology, Faculty
of Medicine, Şeyh Edebali University, 11000
Bilecik, Turkey
 ali.tgzd@bilecik.edu.tr

Abstract: Inflammation and increased cellular ROS levels caused by bee venom can increase the formation of necrotic tissue and allergies. Many treatment methods are used for bee venom-induced toxicity. These treatment options include two agents with therapeutic effects and pharmacological value to decrease induced toxicity. L-tryptophan causes a decrease in the level of inflammation and the amount of ROS. Similarly, Amygdalin, which also targets the mTOR/AKT pathway and reduces inflammation, causes a decrease in FAK, ILK, and β -catenin concentrations by inhibiting the expression of $\beta 1$ and $\beta 4$ integrins. Application of high doses of bee venom causes sensitization of nociceptors by activating TRPV1 via the PLA2 cascade, which contains mellitin. This may result in pain and inflammation. We aimed to examine the toxic effects of bee venom by creating a wound model in the fibroblast cell line. After a linear wound was opened, the cells were exposed to bee venom (25 μ g/mL) for 15 minutes. L-tryptophan and amygdalin doses were applied at the end of 15 minutes. After 24 hours of incubation, wound healing was visualized, and cell viability and oxidative damage tests were performed. The results showed that the BV+ B-17 + LT dose had a 60% effect on viability compared to the bee venom control group, resulting in wound closure. It was also determined that the cellular ROS level decreased. All these results show that the combination of L-tryptophan and amygdalin has therapeutic efficacy on difficult-to-heal wounds.

Keywords: Amygdalin, bee venom, l-tryptophan, nitric oxide, toxicity.

Arı Zehri Kaynaklı Toksisitenin Değerlendirilmesi: Toksikite ve Yönetim

Öz: Arı zehrinin neden olduğu iltihaplanma ve artan hücresel ROS seviyeleri nekrotik doku oluşumunu ve alerjileri artırabilir. Arı zehri kaynaklı toksisite için birçok tedavi yöntemi kullanılmaktadır. Bu tedavi seçeneklerine, indüklenen toksisiteyi azaltmak için terapötik etkileri ve farmakolojik değeri olan iki ajan dahil edilmiştir. L-triptofan, iltihaplanma seviyesinde ve ROS miktarında azalmaya neden olur. Benzer şekilde, mTOR/AKT yolunu da hedef alan ve iltihabı azaltan Amygdalin, $\beta 1$ ve $\beta 4$ integrinlerinin ekspresyonunu inhibe ederek FAK, ILK ve β -katenin konsantrasyonlarında azalmaya neden olur. Yüksek dozda arı zehri uygulaması, mellitin içeren PLA2 kaskadı aracılığıyla TRPV1'i aktive ederek nosiseptörlerin duyarlılaşmasına neden olur. Bu, ağrı ve iltihaplanmaya neden olabilir. Fibroblast hücre hattında bir yara modeli oluşturarak arı zehrinin toksik etkilerini incelemeyi amaçladık. Doğrusal bir yara açıldıktan sonra hücreler 15 dakika boyunca arı zehrine (25 μ g/mL) maruz bırakıldı. 15 dakikanın sonunda L-triptofan ve Vit B17 dozları uygulandı. 24 saatlik inkübasyondan sonra yara iyileşmesi görüntülendi ve hücre canlılığı ve oksidatif hasar testleri yapıldı. Sonuçlar özellikle BV+ B17 + LT dozunun arı zehri kontrol grubuna kıyasla canlılık üzerinde %60'lık bir etkiye sahip olduğunu ve yaranın kapanmasına neden olduğunu gösterdi. Ayrıca hücresel ROS seviyesinin azaldığı belirlendi. Tüm bu sonuçlar L-triptofan ve amigdalin kombinasyonunun iyileşmesi zor yaralarda terapötik etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Amigdalin, arı zehri, nitrik oksit; l-triptofan; toksisite.

INTRODUCTION

Wounds are usually the result of mechanical abrasions and cuts (Özkorkmaz & Özey, 2009). Homeostasis is disrupted in the area where the wound occurs, and secondary pathogens in the surrounding area become active. As a result of the invasion of secondary pathogens, high

levels of inflammation, pain, and spread to surrounding tissues can be observed (Eron, 1999). Wound healing is regulated by multiple cellular, humoral, and molecular processes (Tepebaşı & Calapoğlu, 2016). The most important cell type involved in this pathway is the fibroblast. Fibroblasts are found in many tissues in the body, are normally in a relatively quiescent state, and are primarily

responsible for the production and regeneration of extracellular matrix (ECM) molecules (Addis et al., 2020; Bomalaski, Neilson, & Jimenez, 1986).

Bee venom is a liquid substance with a strong odor, acidic, yellowish color, formed in the venom bag of bees and containing mainly mellitin, apamin, MCD-peptide, histamine, hyaluronidase, phospholipase-A2 (PLA2) (Khalil, Elesawy, Ali, & Ahmed, 2021). Although it has a therapeutic effect thanks to the compounds it contains, high doses of melittin, which constitutes 50-60%, cause toxicity. Melittin is formed by activating the thermal nociceptor transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) via the PLA 2 cascade, which causes sensitization of primary nociceptors (Oršolić, 2012). It is also responsible for cell lysis and death. Accumulated melittin peptides disrupt phospholipid packaging in the cell membrane, causing cell lysis. Melittin and bee venom PLA 2 act synergistically with lipid membranes, leading to cell damage (G. Lee & Bae, 2016). In light of this information, a linear wound model was created on fibroblast cells, and toxicity was performed using high doses of bee venom (25 µg/mL).

Vitamin B17 (Amygdalin) has been known for many years to have therapeutic effects on many diseases. These effects include anti-cancer, anti-inflammatory, anti-asthmatic and anti-fibrotic effects (Dasari et al., 2024). However, the most common anticancer effects in recent years are mostly characterized by the induction of apoptotic pathways and the reduction of inflammation (Liczbiński & Bukowska, 2018). Amygdalin inhibits the expression of β 1 and β 4 integrins, resulting in decreased concentrations of FAK, ILK, and β -catenin, and also inhibits the mTOR/AKT pathway (Al-Khafaji & Tok, 2020). In a study conducted to determine the anticancer and antioxidant effects of amygdalin, it was observed that amygdalin at a dose of 8 µg/mL decreased TAS levels and increased TOS levels in human glioblastoma cells (Genç et al., 2024).

L-Tryptophan is an essential aromatic α -amino acid. It is necessary for protein synthesis and as a precursor of important biomolecules such as serotonin, melatonin, tryptamine, niacin, quinolinic acid, and kynurenic acid, nicotinamide adenine dinucleotide (Maes et al., 1993). Melatonin is one of the antioxidants used to reduce ROS levels in the cell. Like amygdalin, it plays a role in regulating the mTOR/AKT signaling pathway and reduces inflammation and cellular ROS levels (Florido et al., 2022). In a study, it was observed that melatonin at a dose of 10 µM/L reduced inflammation and decreased nitric oxide levels in IL-1-induced human intestinal epithelial cells (Mannino et al., 2019).

In this study, the antioxidant and anti-inflammatory effects of L-tryptophan and amygdalin were determined in a fibroblast wound model created using a toxic dose of bee venom (25 µg/mL).

MATERIAL AND METHOD

Preparation of Reagents: Bee venom was obtained from New Techniques Laboratory Ltd. (Tbilisi, Georgia). Vit B17 and LT substances were obtained from VEFA Ltd. (Ankara, Türkiye). Each substance was weighed on a precision balance to be 1 mg. Then, 1 ml of each was taken from Dulbecco's Modified Eagle (DMEM) medium containing 0.1% Penicillin/Streptomycin and 10% Fetal Bovine Serum (Euroclone, Milan, Italy) prepared for cell culture and dissolved. After the dissolution process, dilution procedures were performed according to the doses to be used. Experimental groups were determined as given in the table below.

Table 1. Experimental groups.

Control
Wound Control
Bee venom (BV) control 25 µg/mL
BV + B17 5 µg/mL
BV + B17 10 µg/mL
BV + B17 25 µg/mL
BV + L- tryptophan 1 µg/mL
BV + L- tryptophan 5 µg/mL
BV + L- tryptophan 10 µg/mL
BV + B17 25 µg/mL+ L- tryptophan 1 µg/mL
BV + B17 25 µg/mL+ L- tryptophan 5 µg/mL
BV + B17 25 µg/mL+ L- tryptophan 10 µg/mL

Cell Culture: The fibroblast cell line (L929, ATCC) was provided by our institution, Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Medicine, Department of Medical Pharmacology. Briefly, cells were grown and developed in Dulbecco's Modified Eagle (DMEM) medium containing 0.1% Penicillin/Streptomycin and 10% Fetal Bovine Serum (Euroclone, Milan, Italy). Cells were incubated at 37 °C in a 5% CO₂ environment. Cells that reached 80% confluency were passaged for seeding in 96-well plates. The number of cells per 1 µL was determined using the cell counting kit (Thermofisher Scientific). 10³ cells were seeded per well. Cells were incubated again to reach 80% confluency. After incubation, a linear wound model was created in all groups except the control group and reagents were added to the medium. Bee venom was applied to all groups except control and kept in the incubator for 15 minutes for toxication. After adding treatment doses, it was kept for 24 hours again. At the end of 24 hours, the groups were photographed to observe wound closure (Sevim, Taghizadehghalehjoughi, & Mehtap, 2020).

MTT Analysis: A commercial kit from Sigma-Aldrich (USA) was used to perform the MTT ((3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide) test. In conclusion, 10 µL of MTT (5 µg/mL) was added to each well, and the mixture was incubated for 4 hours at 37 °C with 5% CO₂. DMSO was then applied to each well to dissolve the formazan crystals. The optical density (OD), measured at 570 nm with a spectrophotometer (BioTek, 800TS), was used for determining the percentage of viable

cells. The OD value of the control group was determined as 100, and the viability rate of other groups was calculated by taking the control group as reference (Avci et al., 2022).

Total Antioxidant Capacity (TAC) and Total Oxidative Stress (TOS) Analysis: The TAC value was measured calorimetrically using the Total Antioxidant Capacity Kit as described in our previous studies (Rel Assay Diagnostics kit). The TAC value obtained was calculated as mmol Trolox Equiv./L according to the formula below (Nalci, Nadaroglu, Genc, Hacimuftuoglu, & Alayli, 2020).

$$A2-A1 = \Delta \text{Absorbance (standard, sample, or H}_2\text{O)}$$

$$\text{TAC} = \frac{\text{H}_2\text{O}\Delta\text{Abs} - \text{Sample}\Delta\text{Abs}}{\text{H}_2\text{O}\Delta\text{Abs} - \text{Standard}\Delta\text{Abs}}$$

The TOS assay was evaluated calorimetrically using the Total Oxidative Stress Kit as described in our previous studies (RL0024, Rel Assay Diagnostics kit). The TOS value obtained was calculated as mmol H₂O₂ Equiv./L according to the formula below (Nalci et al., 2020).

$$A2-A1 = \Delta \text{Absorbance (standard or sample).}$$

$$A2 - A1 = \Delta \text{Absorbans}$$

$$\text{TOS} = \frac{\text{Sample } \Delta\text{Abs}}{\text{Standard } \Delta\text{Abs}} \times 10$$

Biochemical Analysis: Nitric oxide (NO) (H0030, BT Lab) and Lactate Dehydrogenase (LDH) (E-BC-K046-M, Elabscience) tests were performed according to the kit procedure. Samples were measured with a spectrophotometer device at 450 nm.

Statistical Analysis: Statistical assessments throughout groups were calculated using the one-way ANOVA method. For statistical analysis, SPSS 20 software was used for all computations ($P < 0.05$). The standard deviation and mean of the results (mean $\pm$ SD) are reported.

RESULTS

Cell Proliferation Results: After 24 hours of treatment, photographs of the groups were taken under a light microscope (Nikon, Tokyo, Japan) at 4x magnification, and cell proliferation processes were determined (Figure 1). The BV + B17 25 $\mu\text{g/ml}$ + LT 10 $\mu\text{g/ml}$ group had the highest proliferation. After this group, the best proliferation was observed in the BV + B17 25 $\mu\text{g/ml}$ + LT 1 $\mu\text{g/ml}$ group.

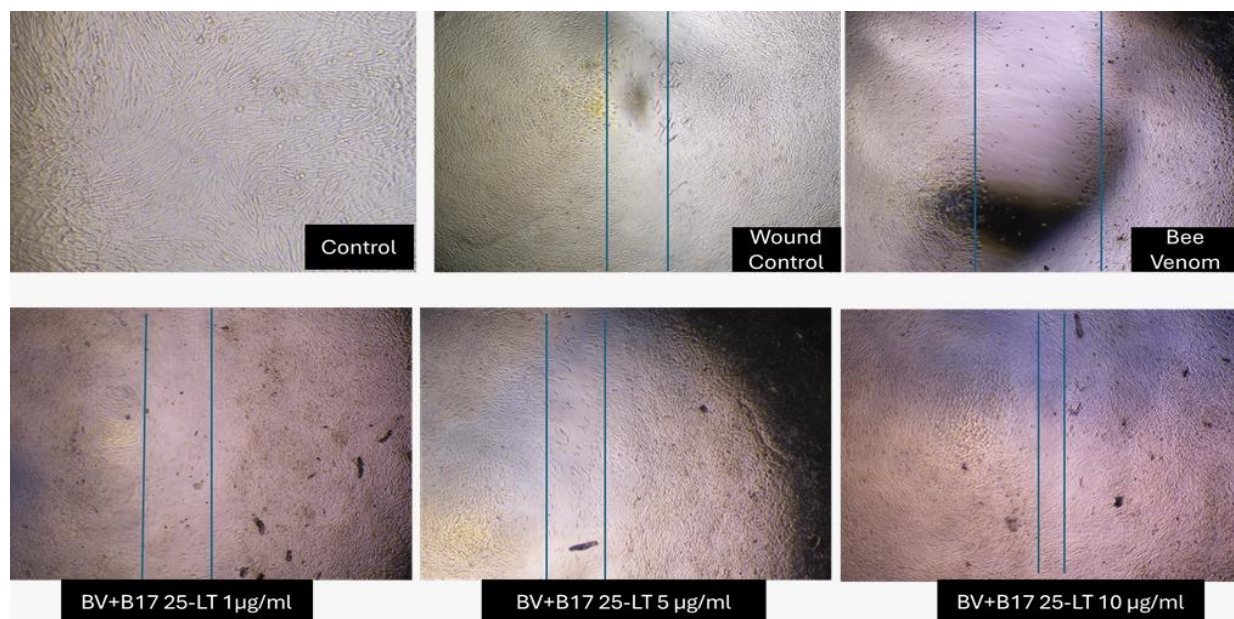


Figure 1. Cell proliferation results after 24 hours of treatment (BV: Bee venom, B17: Vitamin B17, LT: L-tryptophan) Bar x4.

MTT Analysis Results: The effects of LT (1, 5, and 10 $\mu\text{g/ml}$) and vitamin B17 (5, 10, and 25 $\mu\text{g/ml}$) applied as a treatment against bee venom (25 $\mu\text{g/ml}$), which causes toxicity on the wound model, on fibroblast cells were determined after 24 hours using the MTT method. The spectrophotometric measurement results of the control group were evaluated as 100% and other groups were compared with the control group. When the results obtained were examined, the cell viability of the bee venom control group decreased by 41.1% compared to the control

group ($P < 0.01$). No significant result was obtained against toxicity in the low-dose groups of LT. A 41.21% increase in cell viability was observed in the L. tryptophan 10 $\mu\text{g/mL}$ treatment group compared to the bee venom control group ($P < 0.5$). The most significant result in the combined treatment was obtained in the BV + B17 25 $\mu\text{g/ml}$ + LT 10 $\mu\text{g/ml}$ groups ($P < 0.01$). These results show the effect of the B17 25 $\mu\text{g/ml}$ + LT 10 $\mu\text{g/ml}$ combined treatment on cell viability (Figure 2).

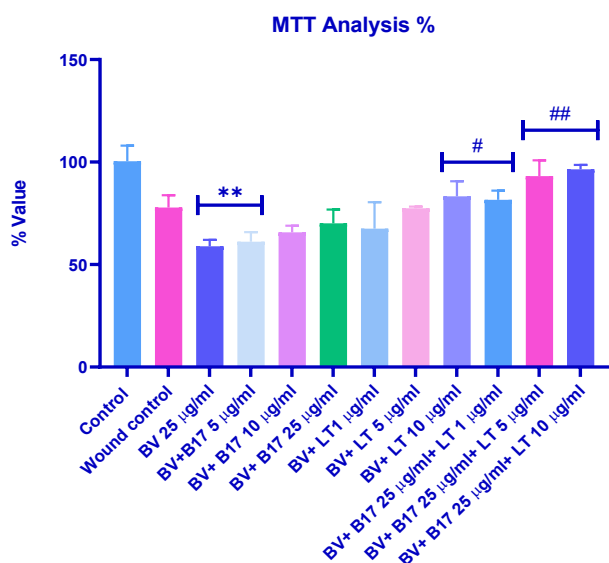


Figure 2. Cell viability of fibroblast cells at 24 h. The significance level was determined as (** $P<0.01$) in the BV 25 µg/ml dose group compared to the control. The significance level was determined as (* $P<0.05$) when compared to LT 10 µg/ml and BV + B17 25 µg/ml + LT 1 µg/ml bee venom control group. The significance level was determined as (## $P<0.01$) when compared to the BV + B17 25 µg/ml + LT 10 µg/ml bee venom control group (BV: Bee venom, B17: Vitamin B17, LT: L-tryptophan)

TAC and TOS Results: To determine oxidative damage, TAC and TOS values were examined from cell

media taken at the end of 24 hours; all findings are shown in Figure 3. An increase in TAC level was observed in correlation with the result in cell viability. BV 25 µg/mL showed a significant decrease (approximately 39.48%) compared to the control ($P<0.01$). BV + B17 25 µg/ml + LT 10 µg/ml showed a significant increase (approximately 52.88%) compared to the bee venom control group ($P<0.01$). Considering these findings, it is seen that antioxidant activation in fibroblast cells also increased with the increase in cell viability. Contrary to the increase in antioxidant activity, oxidative stress decreased at the cellular level, and a significant change was observed in TOS level (Figure 3B). A significant increase was observed compared to the BV 25 µg/mL control ($P<0.01$). Compared to bee venom control, a significant decrease (approximately 63.93%) was observed in BV + LT 10 µg/ml and BV + B17 25 µg/ml + LT 1 µg/ml dose groups ($P<0.5$). The highest decrease was observed in the high-dose combined treatment groups (BV + B17 25 µg/mL + LT 5 µg/mL and BV + B17 25 µg/mL + LT 10 µg/mL) ($P<0.01$). According to our results, it was shown that when applied in combination with vitamin B17 and LT, it was effective on wound healing by reducing oxidative stress in fibroblast cells.

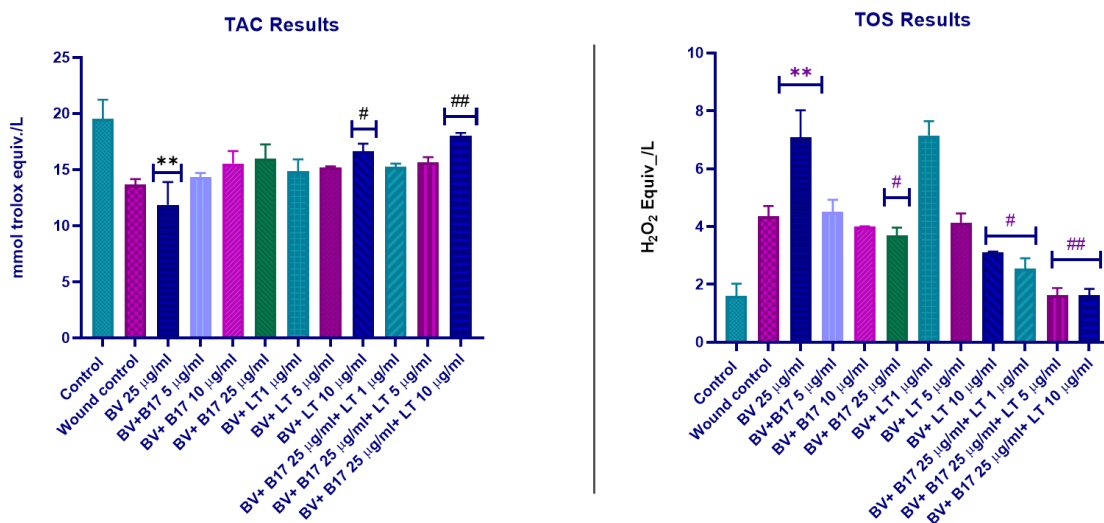


Figure 3. TAC and TOS levels of control, wound control, bee venom, and treatment groups. A) TAC result; BV 25 µg/mL is significant compared to control (** $P<0.01$). Among the BV+ B17 25 µg/mL + LT 10 µg/mL treatment groups, it has the highest significance compared to the bee venom control group (## $P<0.01$). B) TOS result; BV 25 µg/mL is significant compared to control (** $P<0.01$). A highly significant decrease was observed in the combined treatment groups (BV + B17 25 µg/mL + LT 5 µg/mL and BV + B17 25 µg/mL + LT 10 µg/mL) compared to the bee venom control group (## $P<0.01$) (BV: Bee venom, B17: Vitamin B17, LT: L-tryptophan).

Biochemical Analysis: NO and LDH levels on fibroblast cells of L. tryptophan (1, 5, and 10 µg/mL) and vitamin B17 (5, 10, and 25 µg/mL), which were applied as a treatment against bee venom (25 µg/ml) causing toxicity in the wound model, were determined by ELISA test after 24 hours (Figure 4 and 5). Spectrophotometric measurement results of the control group were evaluated as 100% and other groups were compared with the control

group. When the obtained results were examined, an increase of 93.02% in NO was detected in the wound control group compared to the control group and 82.87% in the bee venom group. Among the treatment doses, the combination of BV + B17 25 µg/mL + LT10 µg/mL was the most effective dose, with a decrease of 42.08% compared to the bee venom control group.

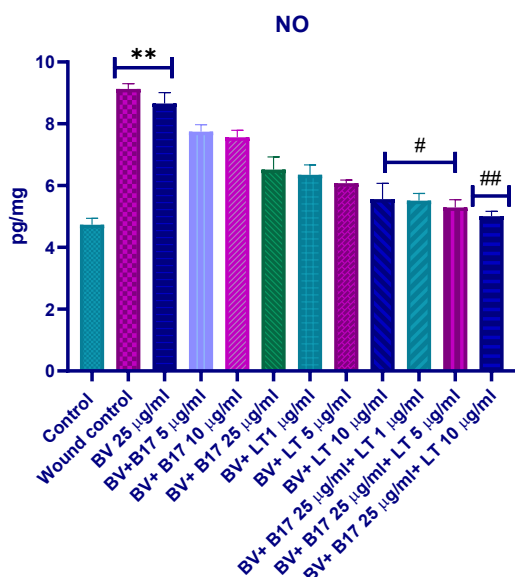


Figure 4. NO levels of the groups. A high increase was observed in the wound and bee venom control group compared to the control group (** $P<0.01$). The treatment group closest to the control showed a significant decrease compared to BV + B17 25 µg/mL + LT10 µg/mL bee venom (## $P<0.01$) (BV: Bee venom, B17: Vitamin B17, LT: L-tryptophan).

The bee venom control group showed a 174.90% increase in LDH level compared to the control group. BV + B17 25 µg/mL + LT 1 µg/mL and BV + B17 25 µg/mL + LT10 µg/mL doses showed a 28.1% and 41.21% decrease in LDH levels compared to the bee venom group, respectively.

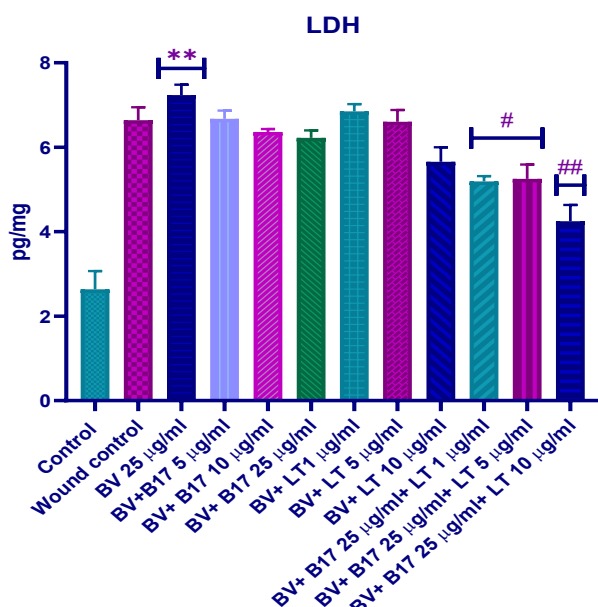


Figure 5. LDH levels of the groups. A high increase was observed in the bee venom control group compared to the control group (** $P<0.01$). The treatment group closest to the control, BV + B17 25 µg/mL + LT10 µg/mL, showed a significant decrease compared to bee venom (## $P<0.01$) (BV: Bee venom, B17: Vitamin B17, LT: L-tryptophan).

DISCUSSION

Tryptophan has anti-oxidative and anti-nitrosative effects. Some studies prove that L-tryptophan has an anti-inflammatory effect on neurons and gastric cells (Shizuma, Mori, & Fukuyama, 2013; Wei et al., 2022). In this study, the antioxidant and anti-inflammatory effects of L-tryptophan and amygdalin were determined in a fibroblast wound model created using a toxic dose of bee venom (25 µg/mL). The wound model has been widely used to evaluate the toxic effects of different materials (Comakli et al., 2019; Wilson, Mills, Prather, & Dimitrijevic, 2005). Bee venom is a natural component produced by bees. Bee uses venom that contains different active ingredients for the protection of the colony (Celebi, Celebi, Baser, & Taghizadehghalehjoughi, 2023; H.-S. Lee et al., 2021). Despite its therapeutic effect thanks to the compounds it contains, high doses of melittin, which constitutes 50-60%, cause toxicity. After 24 hours of exposure to bee venom in fibroblast cultures, the cellular regeneration mechanism will be shut down, and migration will be suppressed at a dose of 25 µg/mL (Figure 1). In the current study, for the treatment of induced toxicity, LT and vitamin B17 were used. According to Perna A (2020) study, LT protects fibroblast cells against ochratoxins. They showed that LT reduced oxidative stress and increased the cell viability ratio (Agarwal, Singh, Raisuddin, & Kumar, 2020). In the current study, the protective effects of LT were shown, and the protective effect in 10 µg/mL was obvious ($P<0.05$). This result also has a correlation with Xiaoshi W (2022) study (Wei et al., 2022). In addition, vit B17 has a protective effect, but not as much as the LT groups. Combination of vit B17 and LT successfully decreased the toxicity induced by BV. In the other studies, it was shown that vit B17 alleviates DNA damage and apoptosis induced by the Trenorol (Al-Otaibi, 2024). Our study showed that in fibroblast cells where cellular migration was inhibited and viability was reduced due to bee venom toxicity, viability increased after treatment with vitamin B17 and LT (MTT test). Aljohara M Al-Otaibi (2024) showed that treatment of rats with Trenorol + VitB17 decreased the testicular toxicity, sperm parameters, DNA damage, and apoptosis. The study showed that the toxicity induced by Trenorol, cause DNA damage and apoptosis in rat testis, whereas treatments with Vit B17 improved these parameters (Al-Otaibi, 2024).

The highest regeneration was seen in the B17 25 µg/mL + LT 10 µg/mL group. Protective mechanisms of the components were investigated in oxidative stress. Shatha G. (2020) showed vit B17 decreased the toxicity of the methotrexate-induced oxidative stress. Vit B17 acts as a free-radical scavenger and lipid peroxidation inhibitor. In addition, it has protective effects on the levels of GSH, SOD, and CAT (Celebi et al., 2023; Felemban, Aldubayan, Alhowail, & Almami, 2020). Dinh QH (2024) showed that

L-tryptophan can decrease oxidative stress levels by scavenging free radicals (Quy Huong et al., 2024). The data shows a correlation with our study. Oxidative damage, as determined by LDH, NO, TAC, and TOS analyses resulting from the application of high-dose bee venom to fibroblast cells, was shown to be reduced by combinations of vitamin B17 and LT. Although an increase in total antioxidant capacity was observed, a decrease in total oxidative stress, such as LDH and NO, was observed ($P < 0.01$).

CONCLUSION

Bee venom, called apitoxin, can lead to inflammation and irritation in the area of a bee sting. The apitoxin induces oxidative stress. Vitamin B17 and L-tryptophan amino acids, as seen in the current study, decreased oxidative levels and increased cell viability in conclusion. We suggest that Vitamin B17 and L-tryptophan can be used for the treatment of inflammation induced by apitoxin, but future study needs to clarify the mitochondrial and endoplasmic reticulum stress.

Author Contributions: Conceptualization, S.G. and A.T.; methodology, S.G., E.N., K.K., S.B., and A.T.; formal analysis, S.G., and A.T.; investigation, S.G., E.N., K.K., S.B., and A.T.; writing-original draft preparation, S.G., E.N., K.K., S.B., and A.T.; writing-review and editing, S.G., E.N., K.K., S.B., and A.T.; supervision, A.T.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Not Applicable.

Data Availability Statement: Data is contained within the article.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Ethical Approval: Not Applicable.

Abbreviations:

BV: Bee Venom
B-17: Amygdalin
LT: L-tryptophan
ROS: Reactive oxygen species
mTOR: Mammalian target of rapamycin
AKT: A strain transforming
NO: Nitric oxide
FAK: Focal adhesion kinase
FBS: Fetal bovine serum
PLA 2: Phospholipase A 2

REFERENCES

- Addis, R., Cruciani, S., Santaniello, S., Bellu, E., Sarais, G., Ventura, C., ..., & Pintore, G. (2020). Fibroblast proliferation and migration in wound healing by phytochemicals: evidence for a novel synergic outcome. *International Journal of Medical Sciences*, 17(8), 1030.
- Agarwal, P., Singh, D., Raisuddin, S., & Kumar, R. (2020). Amelioration of ochratoxin-A induced cytotoxicity by prophylactic treatment of N-Acetyl-L-Tryptophan in human embryonic kidney cells. *Toxicology*, 429, 152324. DOI: [10.1016/j.tox.2019.152324](https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.152324)
- Al-Khafaji, K., & Tok, T.T. (2020). Molecular dynamics simulation, free energy landscape and binding free energy computations in exploration the anti-invasive activity of amygdalin against metastasis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 195, 105660.
- Al-Otaibi, A.M. (2024). Therapeutic effects of vitamin B17 against anabolic steroid Trenorol induced testicular toxicity, injury, DNA damage and apoptosis in male rats. *Toxicol Res (Camb)*, 13(2), tfae084. DOI: [10.1093/toxres/tfae084](https://doi.org/10.1093/toxres/tfae084)
- Avci, S., Gunaydin, S., Ari, N. S., Karaca Sulukoglu, E., Polat, O.E., Gecili, I., ..., & Hacımuftuoğlu, A. (2022). Cerebrolysin alleviating effect on glutamate-mediated neuroinflammation via glutamate transporters and oxidative stress. *Journal of Molecular Neuroscience*, 72(11), 2292-2302.
- Bomalaski, J.S., Neilson, E., & Jimenez, S.A. (1986). Regulation of fibroblast proliferation and collagen synthesis by cytokines. *Immunology Today*, 7(10), 303-307.
- Celebi, D., Celebi, O., Baser, S., & Taghizadehghalehjoughi, A. (2023). Evaluation of antimicrobial and antibiofilm efficacy of bee venom and exosome against *Escherichia coli* K99 strain. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 29(3).
- Comakli, S., Sevim, C., Kontadakis, G., Dogan, E., Taghizadehghalehjoughi, A., Ozkaraca, M., ..., & Tsatsakis, A. (2019). Acute glufosinate-based herbicide treatment in rats leads to increased ocular interleukin-1beta and c-Fos protein levels, as well as intraocular pressure. *Toxicol. Rep.*, 6, 155-160. DOI: [10.1016/j.toxrep.2019.01.004](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.01.004)
- Dasari, P.K., Raja, J.K., Kumar, P.P., Durga, G., Shiva, Y., & Bhavani, D. (2024). A Review on Vitamin B 17 (Amygdalin). *Int. J. Sci. R. Tech.*, 1(3).
- Eron, L.J. (1999). Targeting lurking pathogens in acute traumatic and chronic wounds. *The Journal of emergency medicine*, 17(1), 189-195.
- Felemban, S.G., Aldubayan, M.A., Alhowail, A.H., & Almami, I.S. (2020). Vitamin B17 Ameliorates Methotrexate-Induced Reproductive Toxicity, Oxidative Stress, and Testicular Injury in Male Rats. *Oxid Med Cell Longev*, 2020, 4372719. DOI: [10.1155/2020/4372719](https://doi.org/10.1155/2020/4372719)

- Florida, J., Rodriguez-Santana, C., Martinez-Ruiz, L., López-Rodríguez, A., Acuña-Castroviejo, D., Rusanova, I., & Escames, G. (2022).** Understanding the mechanism of action of melatonin, which induces ROS production in cancer cells. *Antioxidants*, **11**(8), 1621.
- Genç, S., Karabulut, K., Niğde, E., Aydın, Y.E., Aydın, B., Aydın, A.E., & Taghizadehghalehjoughi, A. (2024).** Amygdalin (Vitamin B17) Effect on Glioblastoma: Focus on Oxidant Capacity and Antioxidant Status. *Recent Trends in Pharmacology*, **2**(2), 75-78.
- Khalil, A., Elesawy, B.H., Ali, T.M., & Ahmed, O.M. (2021).** Bee venom: From venom to drug. *Molecules*, **26**(16), 4941.
- Lee, G., & Bae, H. (2016).** Anti-inflammatory applications of melittin, a major component of bee venom: Detailed mechanism of action and adverse effects. *Molecules*, **21**(5), 616.
- Lee, H.-S., Kim, Y.S., Lee, K.S., Seo, H.S., Lee, C.Y., & Kim, K.K. (2021).** Detoxification of bee venom increases its anti-inflammatory activity and decreases its cytotoxicity and allergenic activity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **193**, 4068-4082.
- Liczbiński, P., & Bukowska, B. (2018).** Molecular mechanism of amygdalin action in vitro: review of the latest research. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, **40**(3), 212-218.
- Maes, M., Meltzer, H.Y., Scharpè, S., Bosmans, E., Suy, E., De Meester, I., ..., & Cosyns, P. (1993).** Relationships between lower plasma L-tryptophan levels and immune-inflammatory variables in depression. *Psychiatry Research*, **49**(2), 151-165.
- Mannino, G., Caradonna, F., Cruciata, I., Lauria, A., Perrone, A., & Gentile, C. (2019).** Melatonin reduces inflammatory response in human intestinal epithelial cells stimulated by interleukin-1 β . *Journal of Pineal Research*, **67**(3), e12598.
- Nalci, O.B., Nadaroglu, H., Genc, S., Hacimuftuoglu, A., & Alayli, A. (2020).** The effects of MgS nanoparticles-Cisplatin-bio-conjugate on SH-SY5Y neuroblastoma cell line. *Molecular Biology Reports*, **47**, 9715-9723.
- Oršolić, N. (2012).** Bee venom in cancer therapy. *Cancer and Metastasis Reviews*, **31**, 173-194.
- Özkorkmaz, E.G., & Özay, Y. (2009).** Yara iyileşmesi ve yara iyileşmesinde kullanılan bazı bitkiler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, **2**, 63-67.
- Quy Huang, D., Dinh Tu Tai, P., Quang Trung, N., Thong, N.M., Tam, N.M., Hai Phong, N., & Nam, P.C. (2024).** Investigation of the free radical scavenging ability of l-tryptophan and its derivatives using experimental methods and quantum chemical calculations. *RSC Adv*, **14**(51), 38059-38069. DOI: [10.1039/d4ra06729k](https://doi.org/10.1039/d4ra06729k)
- Sevim, Ç., Taghizadehghalehjoughi, A., & Mehtap, K. (2020).** In vitro investigation of the effects of imidacloprid on AChE, LDH, and GSH levels in the L-929 fibroblast cell line. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, **17**(5), 506.
- Shizuma, T., Mori, H., & Fukuyama, N. (2013).** Protective effect of tryptophan against dextran sulfate sodium- induced experimental colitis. *Turk J. Gastroenterol.*, **24**(1), 30-35. DOI: [10.4318/tjg.2013.0558](https://doi.org/10.4318/tjg.2013.0558)
- Tepebaşı, M.Y., & Calapoğlu, N.Ş. (2016).** Yara iyileşmesinin hücresel ve moleküler mekanizması. *Medical Journal of Suleyman Demirel University*, **23**(4).
- Wei, X., Li, D., Feng, C., Mao, H., Zhu, J., Cui, Y., ..., & Wang, C. (2022).** Effects of hydrogen peroxide and l-tryptophan on antioxidative potential, apoptosis, and mammalian target of rapamycin signaling in bovine intestinal epithelial cells. *J Dairy Sci*, **105**(12), 10007-10019. DOI: [10.3168/jds.2022-21869](https://doi.org/10.3168/jds.2022-21869)



Maya Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Farklı Dekoloran ve PAK Kombinasyonlarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Bilgehan İlker HARMAN¹ Mert Minaz^{2*} Hasan KÖSEOĞLU¹ Nevzat Özgü YİĞİT¹ Mehmet KİTİŞ¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 28.03.2025

Kabul Tarihi: 27.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Harman, B.İ., Minaz, M., Köseoğlu, H., Yiğit, N.Ö., & Kitiş, M. (2025). Maya endüstrisi atıksularının arıtımında farklı dekoloran ve PAK kombinasyonlarının etkinliğinin değerlendirilmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 521-532. <https://doi.org/10.35229/jaes.1667490>

How to cite: Harman, B.İ., Minaz, M., Köseoğlu, H., Yiğit, N.Ö., & Kitiş, M. (2025). Evaluation of the efficiency of different decolorant and PAC combinations in the treatment of yeast industry wastewater. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 521-532. <https://doi.org/10.35229/jaes.1667490>

<https://orcid.org/0000-0003-1189-2289>
 <https://orcid.org/0000-0003-1894-9807>
 <https://orcid.org/0000-0003-0183-208X>
 <https://orcid.org/0000-0003-1564-0222>
 <https://orcid.org/0000-0002-6836-3129>

***Sorumlu yazar:**

Mert MINAZ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Rize, Türkiye

mert.minaz@erdogan.edu.tr

Öz: Maya endüstrisi, geniş çapta kullanılan mikrobiyal fermentasyon süreçleri ile yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeren atıksular üretmektedir. Bu atıksular, yüksek organik madde, renk verici bileşikler ve askıda katı maddeler içerdiğinden, uygun ve etkili arıtım stratejileri gerektirmektedir. Bu çalışmada, maya endüstrisi atıksularının arıtımına yönelik farklı dekoloran dozlarının ve Polialüminyum Klorür (PAK) kullanımının etkinliği karşılaştırılmıştır. Çalışmada, beş farklı dekoloran (farklı konsantrasyonlardaki A, B, C, D ve E kimyasalı) ve çeşitli PAK (F kimyasalı) dozları test edilerek, bu kimyasalların renk (Pt-Co), bulanıklık ve KOİ giderimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, dekoloranlar arasında en iyi giderim performansının C kimyasalı ile sağlandığını göstermiştir. PAK ise tek başına kullanıldığında dahi oldukça yüksek giderim verimi sağlamıştır. Bununla birlikte, çalışmada PAK'ın, en iyi performans gösteren dekoloran (C kimyasalı) ve ticari bir flokülant ile kombinasyonunun daha yüksek arıtım verimi sağladığı belirlenmiştir. Bu kombinasyon, maya endüstrisi atıksularının renk, bulanıklık ve KOİ gideriminde etkili yöntem olarak öne çıkmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, maya endüstrisi atıksularının arıtımında PAK ve dekoloran kombinasyonlarının etkinliğini ortaya koyarak hem akademik literatüre hem de özel sektör paydaşlarına önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Elde edilen veriler, endüstriyel ölçekte uygulanabilecek yeni nesil arıtım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel atıksu arıtımı, dekoloran, flokülasyon, koagülasyon, maya endüstrisi.

Evaluation of the Efficiency of Different Decolorant and PAC Combinations in the Treatment of Yeast Industry Wastewater

Abstract: The yeast industry generates wastewater with high biochemical oxygen demand (BOD) and chemical wastewaters contain high organic matter, color-inducing compounds, and suspended solids, necessitating appropriate treatment strategies. In this study, the effectiveness of different decolorant doses and Poly Aluminium Chloride (PAC) applications in yeast industry wastewater treatment was compared. Five different decolorants (chemicals A, B, C, D, and E at varying concentrations) and various PAC (chemical F) doses were tested, and their effects on color removal (Pt-Co), turbidity, and COD reduction were analyzed. The results indicated that chemical C exhibited the highest removal performance among the tested decolorants. PAC, even when used alone, provided a significantly high removal efficiency. Furthermore, combining PAC with the best-performing decolorant (chemical C) and a commercial flocculant enhanced treatment efficiency. This combination emerged as the most effective method for removing color, turbidity, and COD from yeast industry wastewater. Ultimately, this study provides valuable insights into the efficiency of PAC and decolorant combinations in yeast industry wastewater treatment, serving as an important reference for both academic research and industrial stakeholders. The findings contribute to developing next-generation treatment strategies that can be implemented on an industrial scale.

Keywords: Industrial wastewater treatment, decolorant, flocculation, coagulation, yeast industry.

GİRİŞ

Maya endüstrisi, bira, şarap, ekmek, ekşi maya ürünleri ve biyoyakıt üretimi gibi çeşitli sektörlerde kullanılan temel bir biyolojik katalizör olan mayanın üretimiyle ilgilidir (Faria-Oliveira vd., 2013). Endüstriyel fermentasyon süreçlerinin hızla gelişmesi ve artan üretim

kapasitesi, bu sektörde önemli ekonomik fırsatlar yaratırken, beraberinde çevresel sorunları da getirmektedir. Özellikle, maya üretimi sırasında ortaya çıkan atıksular, yüksek organik yük, renkli çözünen maddeler ve çeşitli kimyasal kirleticiler içermesi nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturabilmektedir (Blonskaja ve Zub, 2009). Atıksuların uygun şekilde arıtılmaması, su ekosistemlerinde

oksijen tüketimini artırarak biyolojik dengenin bozulmasına ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açabilmektedir (Metcalf & Eddy, Inc., 2014). Maya üretim süreçlerinde, fermentasyon sırasında oluşan yan ürünler yalnızca çözelti formunda değil, aynı zamanda yüksek yoğunluklu askıda katı madde (AKM), protein ve renkli bileşikler şeklinde de ortaya çıkmaktadır. Bu atıksuların arıtımı için geleneksel mekanik ve biyolojik arıtma yöntemlerinin ötesinde, kimyasal arıtım uygulamalarının da devreye alınması gerekmektedir. Son yıllarda yapılan biyolojik arıtım çalışmaları, maya endüstrisi kaynaklı atıksulardan koagülasyon, biyofilm ve membran reaktör sistemleri ile yüksek oranda organik madde (KOİ/BOİ) giderimi sağlanabileceğini göstermiştir. Örneğin, anaerobik + aerobik süreçlerin birleşimi ile KOİ gideriminde %65 oranında başarı elde etmiş, ancak renk (melanoidin vb.) bileşenlerin giderimi için tamamlayıcı kimyasal işlemler gerekliliğini vurgulamıştır (Gladchenko vd., 2004). Sonuç olarak, biyolojik yöntemlerin organik madde gideriminde etkili olsa da renk gideriminde sınırlı kaldığını ve kimyasal arıtma adımlarıyla entegrasyona ihtiyaç olduğunu açıkça göstermektedir. Diğer taraftan maya atıksularını mikro-, ultra- ve nano-filtrasyon sistemlerinden geçirerek renk gideriminde %89, KOİ azaltımında %72'ye ulaşmıştır (Mutlu vd., 2002). Endüstriyel atıksuların özellikleri, kullanılan hammadde, fermentasyon süreci ve üretim ölçeği gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, arıtma stratejilerinin de bu çeşitliliği göz önünde bulundurarak optimize edilmesi önemlidir (Metcalf & Eddy, Inc., 2014).

Endüstriyel atıksuların arıtımında özellikle renk giderimi önemli bir yer tutmaktadır. Renk, sadece estetik bir sorun olmakla kalmayıp, aynı zamanda suyun biyolojik arıtım aşamalarında verimliliği olumsuz etkileyebilecek bir parametre olarak değerlendirilir. Tekstil ve boya endüstrilerinde olduğu gibi, maya endüstrisinde de renkli atıksuların giderilmesinde dekoloranlar etkili bir çözüm sunmaktadır (Khristoskova, 1984; Kurade vd., 2019). Dekoloranlar, atıksularda bulunan renk verici organik bileşiklerin yapısını bozarak, bu maddelerin çöktürülüp sistemden uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Yapılan bir çalışmada, dekoloran kullanımının suyun genel kalitesini artırarak biyolojik arıtım süreçlerini olumlu etkilediği gösterilmiştir (Robinson vd., 2001). Bu çalışmalar, dekoloranların doğru doz ve uygulama yöntemleriyle kullanıldığında, atıksuların renk gideriminde yüksek başarı sağladığını göstermektedir. Maya endüstrisine özgü atıksular, çoğunlukla bira üretimiyle birlikte anılan mayadan kaynaklı yan ürünlerle benzer özellikler taşımaktadır. Bira üretiminde ortaya çıkan yan ürünlerden biri olan bira mayası, yüksek organik madde ve renk yoğunluğuna sahip atıksular üretmektedir (Karlovic vd., 2020). Bira üretiminden kaynaklanan atıksuların, özellikle yüksek renk ve organik yük nedeniyle geleneksel arıtma yöntemleriyle tam olarak

arıtılamadığı, dolayısıyla ek kimyasal müdahalelere ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır (Mussatto, 2014). Bu bağlamda, maya endüstrisinde de ortaya çıkan atıksular için benzer bir arıtım stratejisi geliştirilmesi gerekmektedir.

Kimyasal arıtımın arka planında, dekoloranların yanı sıra PAK (Polialüminyum klorür) ve flokülantların kullanımı önemli yer tutmaktadır. PAK, suyun içerisindeki askıda bulunan partiküllerin homojen dağılımını sağlayarak, bu partiküllerin flokülasyon sürecini kolaylaştırır (Zhang et al., 2018). Flokülantlar ise, küçük partiküllerin bir araya gelerek daha büyük floklar oluşturmaya olanak tanır. Bu floklar daha sonra çökeltme tanklarında veya filtreleme sistemlerinde daha rahat bir şekilde ayrılabilir. Organik polielektrolitlerin ve benzeri flokülantların, su arıtımında partikül giderim verimliliğini arttırdığı ifade edilmiştir (Bolto ve Gregory, 2007). Bu yöntemler, özellikle yüksek organik ve renk yüküne sahip atıksuların arıtımında önemli avantajlar sunmaktadır.

Literatürde, farklı dekoloran türlerinin ve kimyasal arıtım maddelerinin atıksu arıtımındaki performansını değerlendiren çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bir derleme çalışmasında, tekstil endüstrisinde kullanılan dekoloranların ve biyolojik yöntemlerle entegre uygulamaların, renk giderimi ve organik madde azaltımında etkili olduğu belirtilmiştir (Banat vd., 1996). Bu çalışmalar, maya endüstrisine özgü atıksuların arıtımında da benzer stratejilerin uygulanabileceğini göstermektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, dekoloranların suyun renksizleştirilmesi üzerindeki etkisinin yanı sıra, sonrasında uygulanacak biyolojik arıtım yöntemlerinin verimliliğini de arttırdığını ortaya koymuştur. Atıksu arıtımında kullanılan yöntemler genellikle çok aşamalı bir yaklaşım gerektirmektedir. İlk aşamada, mekanik filtrasyon ve AKM giderimiyle büyük partiküllerin uzaklaştırılması; ikinci aşamada, kimyasal arıtım uygulamalarıyla renk, organik yük ve AKM'nin azaltılması; üçüncü aşamada ise biyolojik arıtım yöntemlerinin entegre edilmesi söz konusudur. Bu entegre yaklaşım, suyun yeniden kullanım potansiyelini arttırırken, çevresel kirliliğin de önemli ölçüde azaltılmasını sağlamaktadır. Bira atıksularının anaerobik membran biyoreaktör (AnMBR) kullanılarak arıtımında, kimyasal ön işlemlerin sonrasındaki biyolojik arıtımın verimliliği arttırdığı ve arıtılmış suyun kalitesinin yükseldiği belirtilmiştir (Li vd., 2016).

Maya endüstrisi gibi yüksek üretim kapasitesine sahip sektörlerde, atıksu miktarının artmasıyla birlikte arıtma süreçlerinin de ölçeklenebilir ve ekonomik olması büyük önem taşımaktadır. Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan kimyasal maddelerin doğru kombinasyonu, hem arıtım maliyetlerinin düşürülmesi hem de suyun kalitesinin iyileştirilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir çevre politikaları ve artan çevresel duyarlılık, atıksu arıtım teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir

itici güç olmuştur. Geleneksel arıtım yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda, kimyasal arıtım maddelerinin entegrasyonu, atıksulardaki kirleticilerin giderilmesinde daha etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Özellikle, maya endüstrisi atıksularında yüksek renk ve organik yük oranları, kimyasal arıtım yöntemlerinin kritik önem kazanmasına neden olmaktadır. Atıksuların içerisindeki renkli bileşenlerin giderilmesinde dekokloranların, suyun fizikokimyasal özelliklerini iyileştirerek biyolojik arıtım öncesi hazırlık aşamasında etkili olduğu gösterilmiştir. Dekoloranların yanı sıra, PAK ve flokülantların kullanımı, askıda bulunan katı maddelerin ve organik partiküllerin verimli bir şekilde çöktürülmesini sağlayarak, suyun berraklığını artırmaktadır. Bu yaklaşımlar, hem laboratuvar hem de pilot ölçekli çalışmalarla desteklenmekte olup, atıksu arıtımında sinerjik etkiler yaratarak uygulama verimliliğini artırmaktadır (Bolto & Gregory, 2007; Robinson et al., 2001).

Son yıllarda yayımlanan bazı çalışmalarda, maya atıksularında kimyasal koagülasyon, elektrokoagülasyon ve membran filtrasyon tekniklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmalarda, özellikle biyolojik arıtım öncesi kimyasal uygulamaların renk ve KOİ giderimindeki katkısı vurgulanmıştır (Alavijeh vd., 2022). Ayrıca 2024 yılında yapılan bir başka çalışmada ise melanoidin gibi renkli bileşiklerin giderimi için koagülasyonun biyolojik arıtım öncesi kritik rolü olduğu ortaya konmuştur (Akhlaghi vd., 2024). Bu güncel araştırmalar, mevcut çalışmanın bilimsel katkısını daha güçlü bir şekilde temellendirmektedir.

Bu bağlamda, mevcut araştırmalar ve uygulamalardan yola çıkarak, maya endüstrisine özgü atıksuların arıtımında kimyasal yöntemlerin, biyolojik arıtım öncesi ön işlemlerle entegre edilmesinin büyük bir potansiyel taşıdığı görülmektedir. Endüstriyel ölçekte gerçekleştirilen pilot uygulamalar, suyun yeniden kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli sonuçlar verecektir. Bu kapsamda, mevcut çalışma beş farklı dekokloran, bir PAK ve bir flokülantı dikkate alarak maya atıksuyunun arıtımı için en etkili yöntemi ortaya koymuştur. Bu çalışmanın özgün yönü, maya endüstrisine ait yüksek renk ve KOİ içeriğine sahip atıksuların arıtımında, beş farklı ticari dekokloran kimyasalının detaylı doz-yanıt ilişkisiyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ve bu kimyasalların PAK ile kombinasyonlarının ayrı ayrı test edilmesidir. Literatürde maya endüstrisi atıksuları için bu kadar çeşitli bir kimyasal kombinasyonun sistematik biçimde incelendiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, elde edilen veriler sadece laboratuvar koşullarına özgü kalmayıp, uygulamaya dönük optimum dozaj önerileri ile birlikte, endüstriyel tesisler için pratik arıtım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem

bilimsel literatüre hem de saha uygulamalarına değer katmayı hedeflemektedir.

MATERYAL VE METOT

Atıksu Karakterizasyonu: Bu çalışmada kullanılan atıksu, Türkiye’de faaliyet gösteren ticari bir maya üretim tesisinden doğrudan temin edilmiştir. Numuneler, üretim sürecinin ardından hiçbir kimyasal veya fiziksel ön işleme tabi tutulmadan, doğal haliyle laboratuvara getirilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Numunelerde öncelikle atıksu karakterizasyonunu belirlemek için analizler yapılmıştır. Atıksu karakterizasyonu karıştırılmış (çökelmemiş) ve 3 saat çökelmeye tabi tutulmuş numuneler üzerinde yapılmıştır. Çökelmiş numune karakterizasyonu atıksu arıtma tesisindeki mevcut çökeltilimin renk ve KOİ giderimine etkisinin simüle edilmesi ve dolayısıyla bu çalışmada uygulanan kimyasalların gerçek arıtma performansının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Her iki atıksu numunesinin fiziko-kimyasal karakteristiği Tablo 1’de verilmiştir. Çökelmemiş ve 3 saat çökelmeye bırakılmış numunelere ait renk farkı, renk ölçümü öncesinde numunelerin filtreden geçirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, çökelmemiş örneklerde askıda katı madde ve bulanıklıktan kaynaklanan ışık absorpsiyonu, renk değerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Çökelme sonrası bu partiküllerin dibe çökmesiyle birlikte, gerçek renk ölçümüne katkı yapan etmenler azalmış ve Pt-Co değeri düşmüştür. Bu durum, ölçüm sonuçlarındaki farkı açıklamaktadır.

Tablo 1. Çökelmemiş ve çökelmiş numunelerin fiziko-kimyasal karakteristiği.

Table 1. Physicochemical characteristics of unsettled and settled samples.

Parametre	Çökelmemiş Orijinal Numune ^a	3 Saatlik Çökelme Sonrası Orijinal Numune
pH	7,17	7,17
KOİ (mg/L)	1512	1446
RES ^b -436 nm (m ⁻¹)	83,39	66,46
RES-525 nm (m ⁻¹)	57,79	42,36
RES-620 nm (m ⁻¹)	45,47	31,02
Pt-Co (Pt-Co Renk Birimi)	3220	2650
İletkenlik (microS/cm)	5010	5020
Tuzluluk (%)	2,6	2,6
Bulanıklık (NTU)	231	155
Askıda katı madde (mg/L)	680	192
Nitrat azotu (NO ₃ -N) (mg/L)	-	14,4
Nitrit azotu (NO ₂ -N) (mg/L)	-	0,052
Amonyum azotu (NH ₄ -N) (mg/L)	-	60,5
Toplam azot (TN) (mg/L)	-	143
Toplam fosfor (TP) (mg/L)	-	11,3
Sülfat (SO ₄ ²⁻) (mg/L)	-	60

^a Analiz yapılmadan önce numune homojen hale gelecek şekilde karıştırılmıştır.

^b RES: Renklilik sayısı.

Kullanılan Dekoloranlar ve Jar Testi: Atıksu karakterizasyon belirleme aşamasının ardından, numuneler üzerinde dekokloran maddeler ve PAK ilavesi ile sırasıyla koagülasyon, flokülasyon ve çökeltilme proseslerini izleyen arıtılabilirlik çalışmaları yapılmıştır. Toplam yedi farklı flokülant kullanılmıştır. Test edilen dekokloranların, PAK’ın ve flokülantın fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur. Çalışmada uygulanan deneysel plan ise Tablo 3’de verilmiştir. Jar testlerinde kullanılan kimyasal doz aralıkları belirlenirken, araştırma ekibinin benzer endüstriyel atıksu arıtımı konularında edindiği laboratuvar ve saha

deneyimleri ile üretici firmaların kimyasallara ilişkin önerdiği uygulama doz aralıkları dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda belirlenen doz aralıkları, her bir kimyasal için

optimum performansın gözlemlenmesine olanak sağlayacak şekilde geniş tutulmuştur.

Tablo 2. Test edilen kimyasalların fiziko-kimyasal özellikleri.

Table 2. Physicochemical properties of tested chemicals.

Kimyasalın Kodu	Tip	Yoğunluk (gr/cm ³ , 20°C sıcaklıkta)	Viskozite (cP, 23°C sıcaklıkta)	Formu	İçerik	pH
A	Dekoloran	1,07±0,05	<10	Sıvı	DMA-Epiklorohidrin, katyonik, %50 polimer, %50 su	5,5±0,5
B	Dekoloran	1,06±0,05	1000-3000	Sıvı	Polidadamac, katyonik, %40 polimer, %60 su	4±0,5
C	Dekoloran	1,20±0,05	30-1000	Sıvı	Katyonik, %50 polimer, %50 su	3,5±0,5
D	Dekoloran	1,25±0,1	-	Sıvı	Katyonik, %50 polimer, %50 su	3,0±0,5
E	Dekoloran	1,12	-	Sıvı	Poliamidik polimer, katyonik, %48 polimer, %52 su	4,0-5,0
F	PAK	1,40±0,01	<50	Sıvı	Polialüminyum klorür hidroksit, Al ₂ O ₃ cinsinden %17'lik. 1 ton PAK 90 kg (%9,0) Al ³⁺ içerir.	3,0±0,5
G	Flokülant	-	-	Toz	Yüksek moleküler ağırlıklı orta katyoniklikte flokülant	-

Tablo 3. Jar testi deneyleri matrisi.

Table 3. Matrix of jar test experiments.

Kullanılan Kimyasal	Uygulanan Dozlar (mg/L)
A	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 750, 1000
B	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 750, 1000
C	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000
D	200, 250, 300, 350, 400, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000
E	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000
F	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 750, 1000
KOM1 (F+C)	100+100, 100+200, 100+400, 100+500, 100+850, 200+100, 200+200, 200+300, 200+400, 200+500, 200+850, 300+100, 300+200, 300+300, 300+400, 300+500, 300+850
KOM2 (F+G)	300+10, 300+20, 300+40, 300+60, 300+80, 300+100, 300+120, 300+140, 300+160, 300+180, 300+200, 300+250, 300+300

Tüm jar testi deneylerinde, her bir deney seti için 300 mL hacminde atıksu numunesi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle numunede renk ve KOİ giderimleri göz önüne alınarak dekoloran, PAK kimyasallarının doz tespiti atıksuyun orijinal pH değerinde yapılmıştır. Tüm testlerde koagülasyon ve flokülasyon işlemleri, Selecta ve Stuart marka jar test düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir. Koagülasyon jar test cihazında kimyasalın eklenmesinin ardından 100 RPM'de 30 saniye boyunca karıştırılarak, daha sonra flokülasyon ise 35 RPM'de 10 dakika süresince yavaş karıştırmaya tabi tutularak gerçekleştirilmiştir. Yavaş karıştırmadan sonra oluşan flokların çökmesi için numune 60 dakika çökeltme bırakılmıştır. Flokülasyon, koagülasyon ve çökeltme süreçlerinde uygulanan süre ve karıştırma hızları, literatürde yer alan önceki protokollerle uyumlu şekilde gerçekleştirilmiştir (Amuda & Amoo, 2007). Çökeltme bırakılan numunelerin üst kısmından alınan su örneklerinde renk, KOİ, bulanıklık, pH ve iletkenlik parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada her kimyasal için optimum doz belirlenirken, öncelikli olarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde sınır değeri bulunan KOİ ve renk parametreleri esas alınmıştır. Bu iki parametrede en yüksek giderimin sağlandığı ve aynı zamanda kullanılan doz miktarının ekonomik açıdan minimumda tutulduğu doz, "optimum doz" olarak değerlendirilmiştir. pH, bulanıklık ve iletkenlik gibi diğer su kalite parametreleri ise ikincil düzeyde değerlendirme ölçütü olarak dikkate alınmıştır.

Dekoloran amaçlı kullanılan PAK (F kimyasalı) ile arıtılabilirlik çalışmalarında uygulanan dozlar Al³⁺ cinsinden hesaplanmıştır. Diğer dekoloran dozları ise katı polimer cinsinden hesaplanarak gerekli konsantrasyonlardaki çözeltiler hazırlanmış ve atıksuya dozlanmıştır. Dekoloranların ve PAK'ın optimum doz belirleme aşamalarının ardından renk ve KOİ giderimlerini

daha da arttırmak amacıyla en fazla giderimlerin bulunduğu kimyasal türleri (F ve C dekoloranı) birbirleri ile kombine edilerek ek testler gerçekleştirilmiştir. G kimyasalı flokülant olarak kullanılmaktadır. Bu kimyasalın renk ve KOİ giderimine olan etkilerini belirlemek amacıyla farklı dozlardaki (10-300 mg/L) G flokülantı 300 mg/L dozundaki PAK (F kimyasalı) ile kombine edilmiştir. F+G kombine testinde G flokülantı yavaş karıştırma (flokülasyon) sırasında dozlanmıştır. PAK'ın diğer dekoloranlarla birlikte kullanıldığı kombine doz testlerinde üretici firmanın önerisi doğrultusunda öncelikle F dozlanmış, ardından diğer ilgili kimyasal (C kimyasalı) dozlanmıştır. Test edilen kimyasalların maksimum doz aralıkları belirlenirken, her bir kimyasalın viskozitesi, polimer yoğunluğu ve aktif madde içeriği dikkate alınmıştır.

Analitik Ölçümler: Testler sonunda toplanan numunelerde gerçekleştirilen analizler, kullanılan cihaz isimleri ve ilgili standart metotlar çerçevesinde detaylı olarak uygulanmıştır. Çöktürme işlemi sonrasında elde edilen üst faz, herhangi bir filtrasyon işlemine tabi tutulmadan analiz edilmiştir. Özellikle renk ve bulanıklık parametrelerinin, askıda katı maddelerden etkilenebileceği dikkate alınarak, tüm deneylerde çöktürme süresi (3 saat), hacim ve ortam koşulları sabit tutulmuş ve analizler aynı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, deneyler arası sistematik farklılık oluşmaması sağlanmıştır. İletkenlik ve tuzluluk ölçümleri, WTW Inolab Cond Level 1 iletkenlik ölçer kullanılarak; pH tayini ise WTW 340i model pH metre ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin bulanıklık değerleri, WTW marka Turb 550 model bulanıklık ölçer ile NTU cinsinden ölçülürken, sülfat (SO₄²⁻) analizi Hach DR2500 spektrofotometre ile Standart Metot 4500 SO₄²⁻-E'ye uygun olarak tayin edilmiştir. KOİ analizi, Hach DR5000 spektrofotometresi üzerinde Lange LCK 1014 kiti

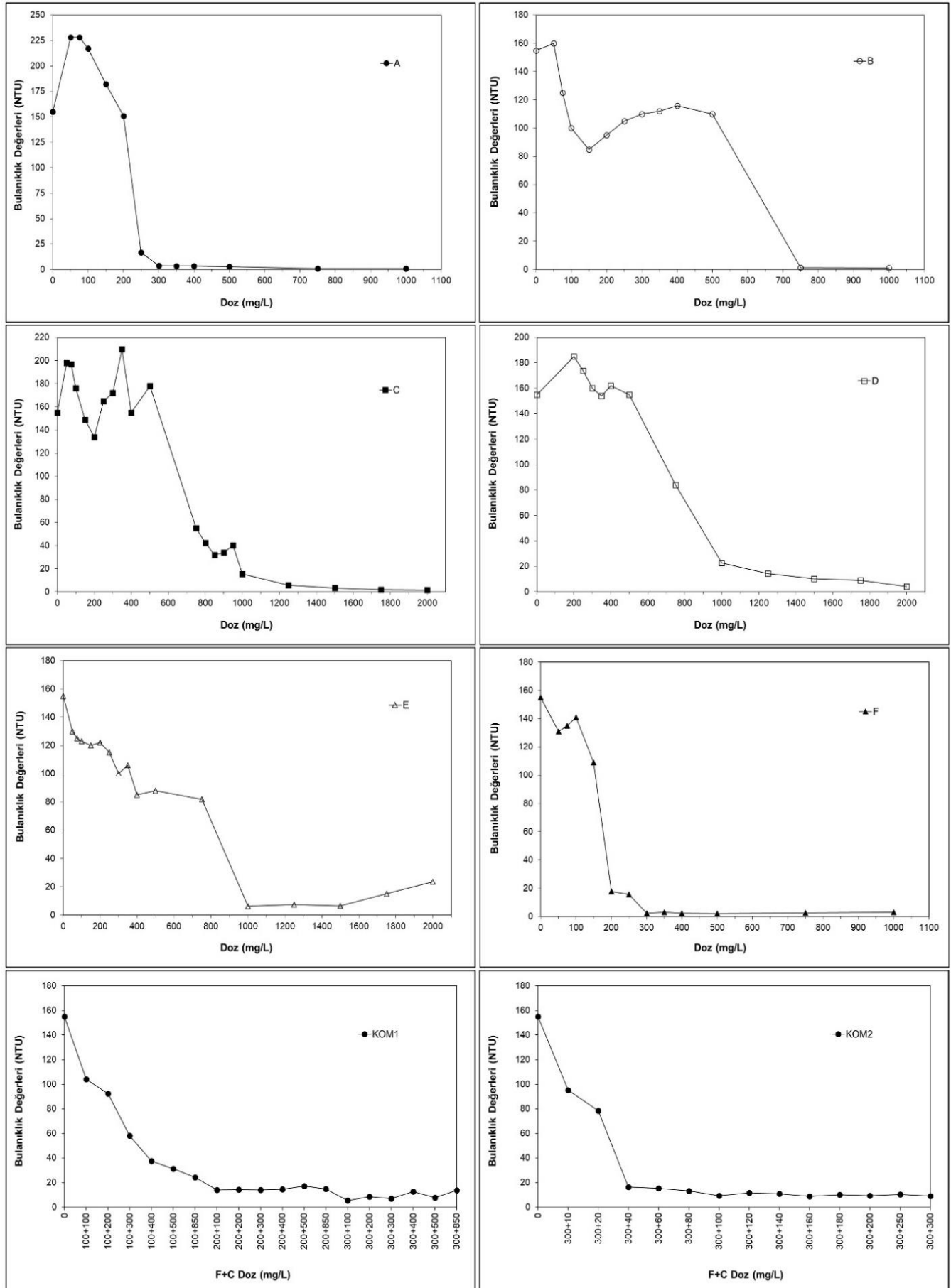
ve metodu kullanılarak, Standart Metot 5220-D'ye eşdeğer şekilde yapılmıştır. Toplam AKM analizi için numune sabit tartıma getirilmiş, 0,45 µm cam elyaf filtre kağıdından süzölmüş, 103 °C'de bir saat süreyle etüvde kurutulup desikatörde oda sıcaklığına soğutulularak tartılmış ve Standart Metot 2540'a göre tayin edilmiştir. Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) analizi kadmiyum indirgenme metoduyla, DR2000 Hach spektrofotometrede 500 nm dalga boyunda Hach DR2000 kitleri kullanılarak, Standart Metot 4500 $\text{NO}_3\text{-E}$ 'ye uygun şekilde ölçülürken; nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$) analizi ise diazotizasyon metodu ile, DR2000 cihazda 507 nm dalga boyunda ve Hach DR2000 kitleri yardımıyla, Standart Metot 4500 $\text{NO}_2\text{-B}$ 'ye eşdeğer olarak tayin edilmiştir. Amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) analizi (LANGE LCK 303) ise amonyum iyonunun sodium nitroprusside'in katalizörlüğünde, pH 12,6'da hipoklorit ve salisilat iyonları ile reaksiyona girerek indofenol mavisinin oluşumuna dayanan prensip çerçevesinde; 0,2 ml numune ilave edildikten sonra tüp kapatılarak karıştırılmış, 15 dakikalık bekleme süresinin ardından Hach DR5000 cihazında 694 nm'de ölçüm yapılmış ve Standart Metot 4500 $\text{NH}_3\text{-F}$ 'ye eşdeğer şekilde uygulanmıştır. Toplam azot (LANGE LCK 338) ve toplam fosfor (LANGE LCK 350) analizleri de sırasıyla Hach DR5000 spektrofotometresi üzerinde ilgili kit ve metotlar kullanılarak tayin edilmiştir. Ayrıca, arıtılabilirlik çalışmaları kapsamında renk analizi için Pt-Co metodu kullanılarak Hach DR5000 spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır.

BULGULAR

Toplam beş farklı dekoloran ve bir adet PAK'ın bireysel olarak ve G flokülantı ile kombinasyonunun farklı konsantrasyonlara göre bulanıklık giderimleri Şekil 1'de sunulmuştur. Buna göre artan konsantrasyonun bulanıklık seviyesini azalttığı dikkat çekmektedir. A dekoloranı için en düşük bulanıklık seviyesi 0,94 NTU ile 1000 mg/L dozunda gözlenmiştir. Fakat 250-300 mg/L dozunda bulanıklık seviyesinde ani bir düşüş gerçekleşmiştir. B dekoloranında da en düşük bulanıklık 1000 mg/L dozda gözlenmiş olup, 750 mg/L dozda ise belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. C dekoloranında uygulanan doza göre kademeli bir düşüş gözlenmiştir ve en düşük bulanıklık 2000 mg/L'de 1,74 NTU'dur. D dekoloranı içinde benzer bir senaryo dikkat çekmektedir. E dekoloranı için en düşük bulanıklık dozu 6,57 NTU ile 1500 mg/L'dir. 750 mg/L'lik dozdan 1000 mg/L'lik doza geçişle birlikte bulanıklık değerinde kayda değer bir azalma gözlemlenmiştir. PAK için 1000 mg/L'ye kadar farklı dozlar test edilmiştir ve en düşük bulanıklık seviyesi 500 mg/L dozunda 2,15 NTU'dur. Ayrıca, 200 mg/L PAK kullanımı bulanıklığın önemli seviyede azaldığı dozdur. KOM1 için 18 farklı kombinasyon karşılaştırılmıştır. Bunlar arasında en düşük

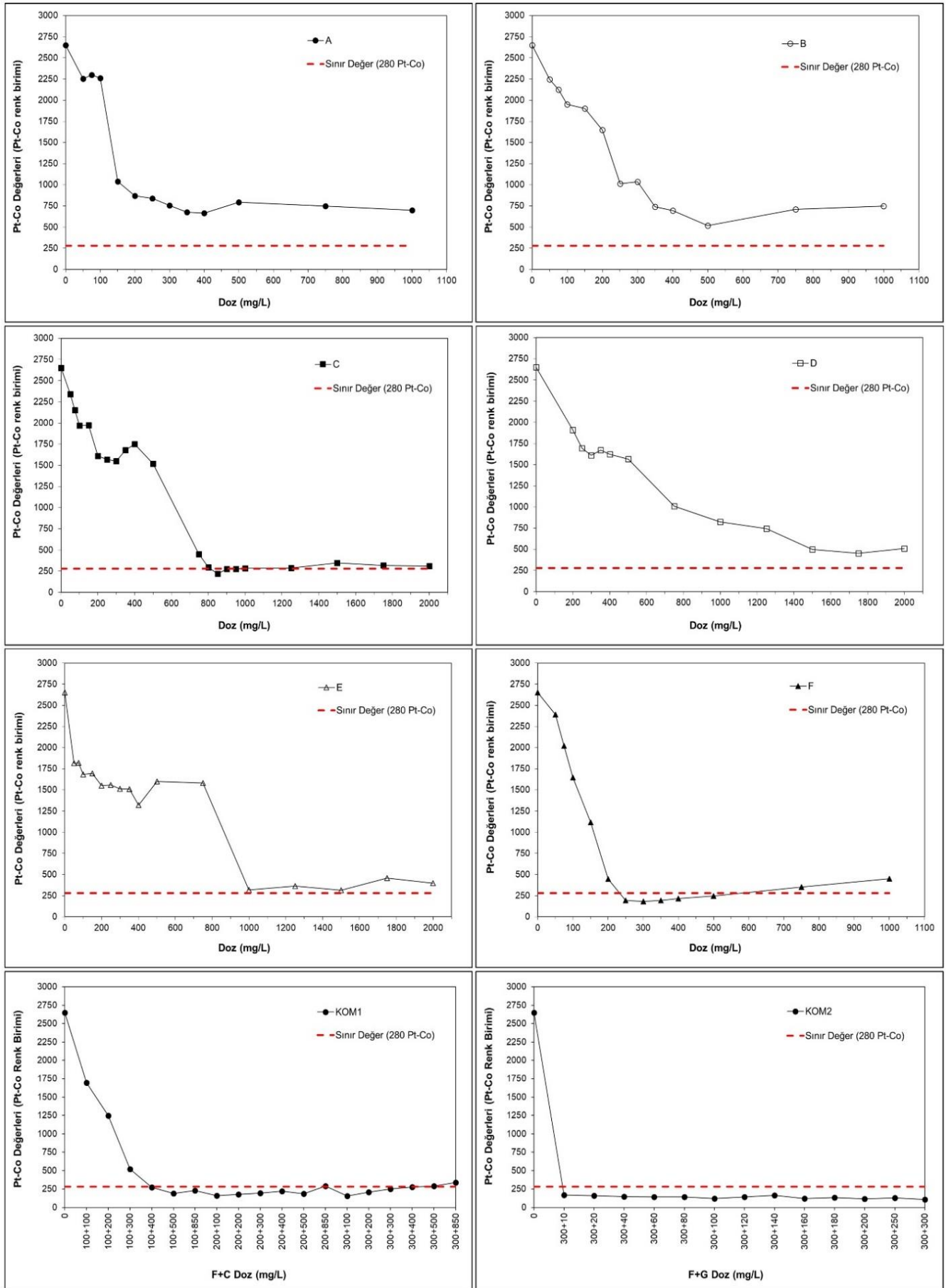
bulanıklık gösteren senaryo 300 mg/L F marka PAK ve 100 mg/L C marka dekoloran kombinasyonudur. Bu kombinasyonun bulanıklık değeri 5,4 NTU'dur. Diğer taraftan KOM2 grubuna ait F marka PAK ve G marka flokülant kombinasyonu için 13 farklı senaryo değerlendirilmiştir. F marka PAK için sabit 300 mg/L ve G flokülantı için 10-300 mg/L arasında toplam 13 farklı doz kombinasyonu denenmiştir. Bu tasarıma göre en iyi bulanıklık giderimi gösteren kombinasyon 300 mg/L F ve 160 mg/L G karışımıdır. Bu kombinasyonun bulanıklık değeri 8,9 NTU'dur.

Çökeltim sonrasında farklı dekoloranlar ve her bir dekolorana ait farklı konsantrasyon gruplarında üst sudan alınan örneklerde Pt-Co metoduna göre yapılan renk ölçümlerinin sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir. Ölçülen renk değerleri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belirlenen Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki sınır olan 280 Pt-Co değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir (SKK, 2004). A dekoloranı için en düşük renk değeri (665 Pt-Co), 400 mg/L dozunda ölçülmüştür. Uygulanan 150 mg/L dekoloran dozunda hızlı bir renk giderimi görüldü dahi ölçülen en iyi renk değeri dahi deşarj sınır değerinin 2,37 kat üzerindedir. B dekoloranı da benzer şekilde sınır değerinin üzerinde kalmıştır. En düşük renk değeri 500 mg/L doz için 518 Pt-Co'dur. C dekoloranı 750 mg/L dozu için renk gideriminde önemli bir azalma göstererek 850 mg/L dozda en düşük renk seviyesi olan 220 Pt-Co değerine ulaşmıştır. Bu sonuç, C dekoloranının renk seviyesini sınır değerlerin altına çekebildiğini göstermesi anlamında önemlidir. D dekoloranı, artan konsantrasyonla birlikte kademeli bir renk azalması göstermiş olsa dahi bu değerler hiçbir doz için kabul edilebilir sınır değerinin altına düşmemiştir. E dekoloranı 1000 mg/L dozunda renk seviyesini önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak sınır değerlere yakın sonuçlar elde edilmesine rağmen, tüm değerler sınırın üzerinde kalmıştır (en düşük 317 Pt-Co). F marka PAK ilk 250 mg/L doza kadar hızlı bir renk giderimi göstermiştir. En düşük renk 181 Pt-Co ile 300 mg/L'lik dozdur. Ayrıca renk açısından sınır değerinin altına oldukça etkili bir şekilde etki eden PAK artan dozlara bağlı olarak renk seviyesini tekrar arttırmıştır. F marka PAK ve C marka dekoloranın kombinasyonu renk giderimini arttırmıştır. Renk açısından PAK'ın 100 mg/L kullanımı, C dekoloranının yüksek kullanımıyla telafi edilebilmiştir. Fakat PAK'ın 200 mg/L kullanımı ile düşük C dekoloran kullanımı dahi renk giderimi sağlamıştır. Her ikisinde yüksek konsantrasyonlarda kullanımı ise renk giderimini azaltan bir strateji olarak dikkat çekmektedir. KOM2 için 300 mg/L PAK kullanımına ek olarak G flokülantının en düşük dozu dahi renk giderimini kabul edilebilir seviyelerin altına çekmektedir.

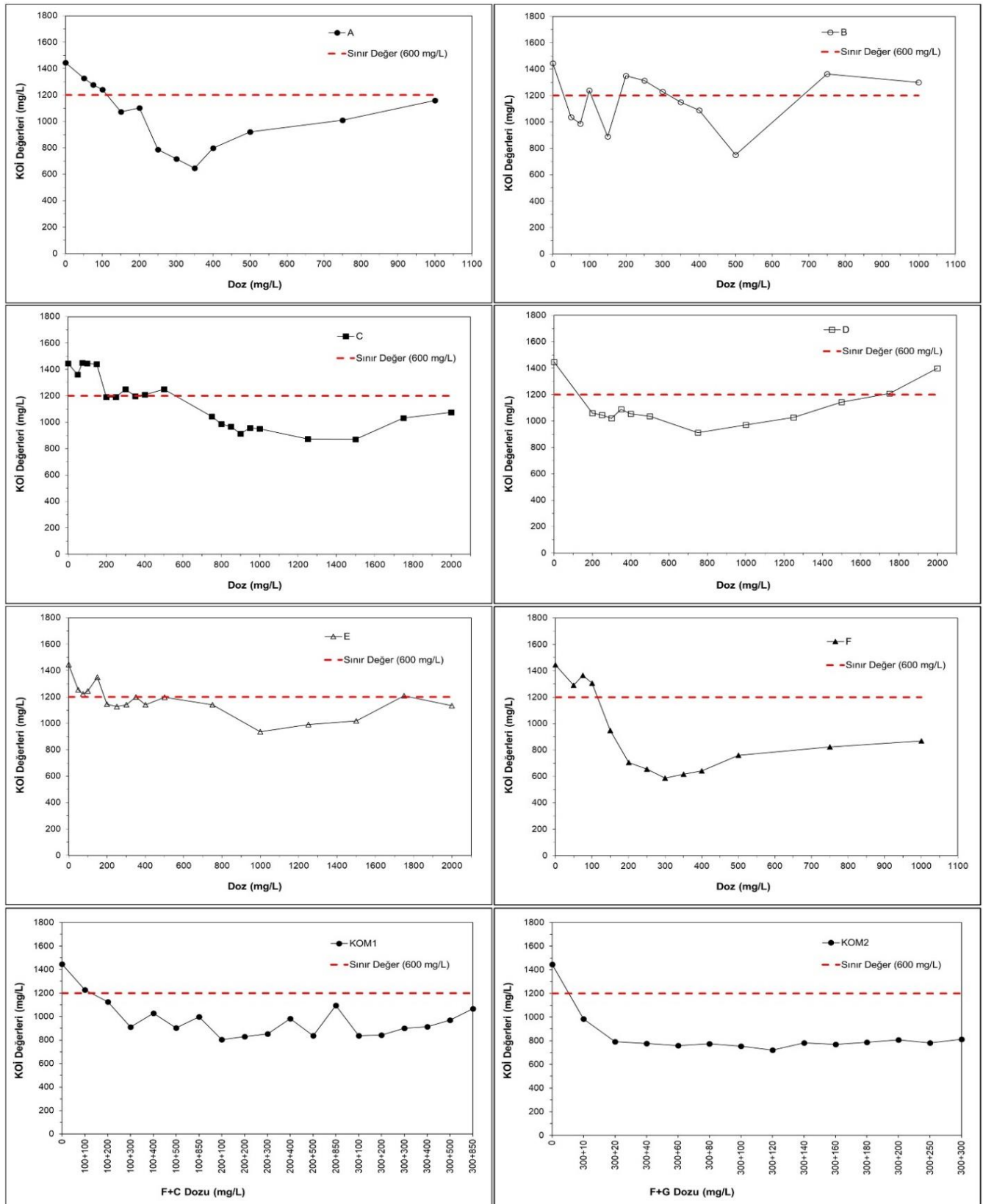


Şekil 1. Uygulanan dekoloran kimyasalları için doza bağlı bulanıklık (NTU) değişimi.

Figure 1. Dose-dependent turbidity (NTU) variation for applied decolorant chemicals.



Şekil 2. Uygulanan dekoloran kimyasallar için doza bağlı renk (Pt-Co) değişimi
 Figure 2. Dose-dependent color (Pt-Co) variation for applied decolorant chemicals



Şekil 3. Uygulanan dekoloran kimyasallar için doza bağlı KOİ (mg/L) değişimi.

Figure 3. Dose-dependent COD (mg/L) variation for applied decolorant chemicals.

Maya endüstrisi atıksu arıtımı için uygulanan farklı stratejilere dair KOİ giderimleri Şekil 3'de sunulmuştur. Artırılabilirlik çalışmalarında elde edilen A dekoloranına (400 mg/L doz için) ait en düşük KOİ değeri

646 mg/L olarak elde edilmiştir. Bu değer ise ilgili bakanlığın Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği gıda sanayii maya üretimi sektörü için belirlenen atıksuların alıcı ortama deşarj sınır değerinin (1200 mg/L) oldukça

altındadır. A dekoloranı için 400 mg/L doz sınır değeri olmakla beraber dozun artması KOİ konsantrasyonunun artmasına neden olmuştur. Bu durumun ilgili dekoloranın yapısal özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir. B dekoloranı için en düşük KOİ değeri 750 mg/L değeri iken bu konsantrasyona düşüren dekoloran dozu 500 mg/L'dir. C dekoloranında ilk 600 mg/L doza kadar KOİ seviyeleri istenen düzeye düşmemiştir ve KOİ'nin 1200 mg/L'nin altına düştüğü ilk doz 800 mg/L ile nispeten diğer dekoloranlara göre daha yüksek sarfiyatı temsil etmektedir. Benzer durum E dekoloranı için de gözlenmiştir. Diğer taraftan, C, D ve D dekoloranları için en düşük KOİ konsantrasyonları 914, 911 ve 936 mg/L ile nispeten yüksek seviyededir. F marka PAK için KOİ giderimi 150 mg/L ile istenen seviyelerin altına inmeye başlamıştır. En düşük KOİ konsantrasyonu 300 mg/L PAK kullanımında 587 mg/L olarak gözlenmiştir. Devamındaki konsantrasyonlarda KOİ seviyeleri tekrar bir artış trendine geçmiştir. PAK ve C dekoloranının birlikte kullanımında, daha yüksek PAK dozları KOİ giderimi açısından daha etkili sonuçlar vermiştir. PAK ve G marka flokülantın eşzamanlı kullanımında KOİ giderimi istenilen seviyelerin altına etkili bir şekilde gelmiştir. Bununla birlikte 20 mg/L flokülant kullanımı KOİ giderimi için yeterli görülmektedir. Daha yüksek dozlarda flokülant kullanımı ekstra bir giderim sağlamamaktadır. Sadece PAK (~600 mg/L) kullanımının KOİ giderimindeki etkisi flokülant (~800 mg/L) ile kullanımına kıyasla daha yüksektir. Bu durum, flokülant kullanımına gerek kalmadan, KOİ gideriminde PAK'ın etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Çalışmada kullanılan tüm senaryolar için pH, iletkenlik, KOİ, renk ve bulanıklık açısından optimum dozları belirlenmiştir (Tablo 4). Bu kapsamda, her bir kimyasalın optimum doz uygulaması sonrası elde edilen su kalitesi parametreleri, başlangıçtaki ham su değerleriyle

aynı tablo üzerinde sunularak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, özellikle KOİ, Pt-Co ve bulanıklık parametrelerinde arıtma sonrası su kalitesinde anlamlı bir iyileşme sağlandığı gözlenmiştir. A dekoloranı için iki farklı optimum doz tercih edilmiştir. Bu dozlar sırasıyla 350 ve 400 mg/L'dir. 350 mg/L en iyi KOİ giderimini sağlarken 400 mg/L'lik dozda en iyi renk giderimi gözlenmiştir. B marka dekoloran için 500 mg/L doz en uygun dozu temsil etmektedir. Çünkü B kimyasalı için belirlenen 500 mg/L doz değeri, KOİ ve renk açısından en uygun ve kabul edilebilir sınırların altındaki sonuçları sağlaması nedeniyle optimum olarak seçilmiştir. C, D ve E için optimum dozlar diğer dekoloranlara göre nispeten daha yüksek olacak şekilde sırasıyla 850, 1750 ve 1000 mg/L'dir. F marka PAK için ise iki farklı doz tercih edilmiştir. Bunlar sırasıyla 250 ve 300 mg/L'dir. 300 mg/L dozu en iyi KOİ, renk ve bulanıklık seviyelerini sağlamıştır. 250 mg/L'de ise bu parametreler daha yüksek olsa dahi kabul edilebilir sınır değerler altındadır ve 300 mg/L'ye göre daha düşük sarfiyat oluşturmaktadır. F marka PAK ve C marka dekoloran kombinasyonları için iki farklı senaryo tercih edilmiştir. Bunlardan ilki 200 mg/L PAK ve 100 mg/L C dekoloranı kullanılmasıdır. Bu daha düşük PAK kullanımı ve daha düşük KOİ sağlamaktadır. Diğer kombinasyon olan 300 mg/L ve 100 mg/L dekoloran ise daha düşük renk ve bulanıklık sağlamaktadır. KOM2 için de benzer şekilde iki farklı kombinasyon önerilmiştir. Bunlardan ilki 300 mg/L PAK'a 100 mg/L G marka flokülant eklenmesidir. Bu kombinasyon daha yüksek KOİ giderimi sağlamıştır. Diğer kombinasyon ise 300 mg/L PAK ve 300 mg/L flokülantın eşzamanlı kullanımınıdır. Bu senaryoda ise renk giderimi daha yüksektir. Tüm deneylerde iletkenlikte gözlenen sınırlı değişimin nedeni, kullanılan kimyasalların düşük iyonik katkıya sahip olması ve uygulama dozlarının atıksu hacmine oranla düşük tutulmasıdır.

Tablo 4. Dekoloran ve kombinasyonları deneylerinin optimum dozlarında elde edilen renk (Pt-Co), KOİ, pH ve bulanıklık değerleri.

Table 4. Color (Pt-Co), COD, pH, and turbidity values obtained at optimal doses of decolorants and their combinations.

Kimyasal	Optimum Doz (mg/L)	pH	İletkenlik (µS/cm)	KOİ (mg/L)	Pt-Co (Pt-Co Renk Birimi)	Bulanıklık (NTU)
Ham Su		7,17	5010	1512	3220	231
A	350	7,12	5110	646	675	3,55
	400	7,11	5125	798	665	3,55
B	500	7,36	5080	750	518	110,00
C	850	5,88	5500	966	220	32,00
D	1750	7,14	5420	1208	452	8,94
E	1000	7,07	5040	936	320	6,37
F	250	5,00	5610	656	193	15,60
	300	4,82	5830	587	181	2,32
KOM1	200+100	5,33	5550	805	160	13,9
	300+100	4,75	5910	838	154	5,40
KOM2	300+100	4,80	5870	753	122	9,20
	300+300	4,78	5750	812	107	8,97

TARTIŞMA

Mevcut çalışmada beş farklı dekoloran ile bir adet PAK kullanımının ve PAK'ın hem en ideal dekoloran hem de ticari bir flokülantla kullanımının maya endüstrisi atıksu arıtımındaki potansiyeli değerlendirilmiştir. Maya üretim süreçleri, yüksek organik yük ve renk içeriğine sahip atıksuların oluşmasına neden olur. Bu atıksular, yüksek

KOİ, AKM ve renk verici bileşikler içerir (Öztürk vd., 2019). Bu nedenle, bu tür atıksuların arıtımı, çevresel yönetmeliklere uyum ve su kaynaklarının korunması için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, PAK (F kimyasalı) kullanımının diğer dekoloranlara kıyasla üstün bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, bu kimyasalın, C kimyasalı ve bir flokülant ile

kombinasyonunun renk ve KOİ gideriminde hızlı ve etkili sonuçlar sağladığı görülmüştür. Bu bulgular, literatürde mevcut çalışmalarla karşılaştırıldığında, çalışmanın sektörde uygulanabilir ve optimize edilmiş bir arıtma yöntemi sunduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde, koagülasyon-temelli yöntemlerin maya endüstrisi atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Zhou vd. (2008) alüminyum sülfat ile maya atıksularının renk ve KOİ giderimini incelediği çalışmasında, optimal pH ve koagülant dozu ile %72 KOİ ve %90 renk giderimi elde etmiştir. Benzer şekilde, Koby ve Delipinar (2008) elektrokoagülasyon yöntemiyle maya atıksularını arıtmış ve optimal şartlarda %71 KOİ giderimi sağlandığını ifade etmiştir. Ancak, bu çalışmalar, yalnızca tek bir koagülant veya yöntem kullanımını ele almış, farklı dekoloran ve flokülant kombinasyonlarını kapsamamıştır.

Maya endüstrisi atıksularının arıtımına yönelik son çalışmalar, kimyasal ve elektrokoagülasyon gibi ileri arıtma teknolojilerinin verimliliğini değerlendirmiştir. Örneğin, Alavijeh vd. (2022), elektrokoagülasyon ile kimyasal koagülasyonun entegre kullanımını değerlendirerek, KOİ gideriminde %11,2 ile %16,1 oranında artış sağlandığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Dereli vd. (2017), maya endüstrisi atıksularının evaporasyon prosesi ile arıtımını inceleyerek, KOİ ve toplam Kjeldahl azotu gideriminde sırasıyla %53 ve %66 oranında iyileşme sağlandığını ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, farklı kimyasal ve fiziksel yöntemlerin kombinasyonlarının arıtma verimini artırabileceğini göstermektedir.

Atıksu arıtımında renk ve organik madde giderimi için koagülasyon-flokülasyon süreçleri yaygın olarak kullanılır. Bu süreçlerde, dekoloranlar (renk gidericiler) ve flokülantlar, partikül ve çözünmüş organik maddelerin agregasyonunu teşvik ederek çökelmelerini sağlar. Polialüminyum Klorür (PAK), yüksek koagülasyon verimliliği ve geniş pH aralığında etkili olması nedeniyle atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan bir koagülanttır. PAK'ın, geleneksel alüminyum ve demir tuzlarına göre daha düşük çamur üretimi ve daha iyi renk giderimi sağladığı bildirilmiştir (Koyuncu vd., 2012). Bu çalışmanın sonuçları, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, PAK (F kimyasalı) kullanımının tek başına bile çok iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu kimyasalın bir başka dekoloran (C kimyasalı) veya bir flokülant ile kombinasyonu, giderim verimini etkin bir şekilde arttırmıştır. Bu bulgu, Gengec vd. (2012) tarafından yürütülen ve maya endüstrisi atıksularının membran filtrasyon teknikleriyle arıtılmasını inceleyen çalışma ile de desteklenmektedir. Söz konusu çalışma, koagülasyon ve elektrokoagülasyon proseslerinin kombinasyonunun KOİ gideriminde belirgin bir iyileşme

sağladığını göstermiştir. Benzer şekilde, Jiang vd. (2017), maya endüstrisi atıksularında melanoidin giderimi üzerine yaptıkları çalışmada, kimyasal koagülantlar ile elektrokoagülasyonun birlikte kullanımının renk ve KOİ giderimi açısından önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, çalışmamızın sunduğu yeni bulgular, koagülantların uygun kombinasyonlarının sinerjistik bir etki yaratarak maya endüstrisi atıksularının arıtımında önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır. Kimyasal arıtım proseslerinde önemli miktarda çamur oluşumu kaçınılmazdır. Bu çalışmada kullanılan koagülant ve dekoloranlar sonucu oluşan çamur, renkli organik maddeler ve askıda katı maddeleri içermektedir. Oluşan çamur, içeriği bakımından organik madde yönünden zengin, ancak düşük toksisite düzeyine sahip olarak değerlendirilmiştir. Benzer nitelikteki endüstriyel çamurlar için en yaygın bertaraf yöntemleri arasında mekanik susuzlaştırma sonrası düzenli depolama, çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak kullanma ve stabilize edilerek yapı malzemesi üretiminde değerlendirme gibi seçenekler yer almaktadır (Zhou et al., 2008; Gengec et al., 2012). Ayrıca, biyolojik olarak kararlılığı yüksek olan bu tür çamurların tarımsal topraklara uygulanmadan önce ileri düzey stabilizasyon süreçlerinden geçirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Bu çalışmanın literatüre en önemli katkılarında biri de, farklı dekoloran ve flokülant kombinasyonlarının maya endüstrisi atıksularının renk ve KOİ giderimi üzerine etkisini kapsamlı bir şekilde belirleyerek, endüstriyel uygulanabilirliği yüksek bir sistem sunmasıdır. Özellikle, F kimyasalının tek başına etkinliğinin yüksek olması, ancak C kimyasalı ve bir flokülant ile kombine edildiğinde bu etkinliğin daha da artırılması, yeni nesil arıtma sistemlerinin kurgusunda önemli bir yol gösterici olmaktadır. Bununla birlikte, PAK kullanımı sırasında pH'da belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Özellikle F, KOM1 ve KOM2 senaryolarında pH'nın 5 civarına kadar düştüğü deneysel verilerle desteklenmektedir. Bu durum, PAK'ın hidrolizi sonucu açığa çıkan H⁺ iyonlarının sistemdeki alkaliniteyi azaltmasıyla açıklanabilir. Al(OH)₃ çökeleğinin optimum oluşum pH aralığı olan 6–7'nin altında çalışması koagülasyon verimliliğini sınırlayabilmektedir. Yine de, bu deneylerde elde edilen renk ve KOİ giderimi sonuçları dikkate alındığında, düşük pH koşullarına rağmen tatmin edici bir arıtım performansı gözlenmiştir. Ancak bu durumun olası etkilerini sınırlandırmak amacıyla, ilerleyen çalışmalarda alkalinite ilavesiyle sistem pH'nın tamponlanması önerilmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, farklı türlerdeki kimyasalların kullanıldığı kombinasyonlara daha fazla odaklanılmalıdır. Maya endüstrisi özelinde ise, atıksuların arıtımında daha verimli ve maliyet etkin yöntemlerin

geliştirilmesine yönelik optimizasyon çalışmaları da yapılmalıdır. Ayrıca, bu yöntemlerin büyük ölçekli endüstriyel tesislerde uygulanabilirliği ve ekonomik sürdürülebilirliği üzerine daha fazla araştırma yürütülmelidir.

SONUÇLAR

Sonuç olarak, bu çalışma PAK (F kimyasalı) kullanımının maya endüstrisi atıksularının arıtımında tek başına dahi oldukça etkili olduğunu, ancak en iyi performans gösteren dekoloran (C kimyasalı) ve bir flokülant (G kimyasalı) ile birlikte kullanıldığında giderim verimliliğinin daha da arttığını ortaya koymuştur. Özellikle F+C kombinasyonunda renk giderimi %95'e, KOİ giderimi %61'e kadar ulaşmış; F+G kombinasyonunda ise renk giderimi %96, KOİ giderimi %55 seviyelerine erişmiştir. Tek başına PAK uygulamasında bile Pt-Co değeri 3220'den 181'e, KOİ konsantrasyonu ise 1512 mg/L'den 587 mg/L'ye düşürülerek çevresel deşarj limitlerinin altına inilmiştir. Bu bulgular, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olup sektörde uygulanabilir, ekonomik ve optimize edilmiş bir kimyasal arıtma yaklaşımı sunduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, ortaya çıkan kimyasal çamurun çevresel açıdan uygun şekilde bertaraf edilmesi de büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, önerilen arıtım stratejilerinin uygulanmasında çamur yönetimi süreçlerinin dikkate alınması önerilmektedir. Ayrıca, kimyasal arıtım proseslerinin biyolojik arıtma öncesi değil de sonrası aşamada, ileri arıtım adımı olarak uygulanması; özellikle renk gideriminin artırılması ve atıksuyun yeniden kullanım potansiyelinin yükseltilmesi açısından alternatif bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, kimyasal madde kullanımını azaltarak daha ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir çözümler sunabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesine maddi katkı sunan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Mali Destek: Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (3720-M1-13) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması: Yazarların açıklayacakları herhangi bir mali veya mali olmayan çıkarları yoktur.

Yazar Katkısı: Bilgehan İlker Harman: Orijinal metin yazarlığı, laboratuvar çalışmaları; Mert Minaz: Orijinal metin yazarlığı, görselleştirme; Hasan Köseoğlu: Metin düzenleme, laboratuvar çalışmaları; Nevzat Özgü Yiğit: Görselleştirme, kaynak temini, metin düzenleme; Mehmet Kitiş: Metin düzenleme, danışmanlık.

Etik Beyan: Yazar, bu tür çalışmalar için etik kurul onayının gerekli olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Akhlaghi, N., Najafpour-Darzi, G., & Vaziri, A. (2024). Removal of melanoidin from baker yeast plant wastewater: A comparative study on chemical and biological processes. *Journal of Water Process Engineering*, **61**, 105301.
- Alavijeh, H.N., Sadeghi, M., Kashani, M.R.K., & Moheb, A. (2022). Efficient chemical coagulation-electrocoagulation-membrane filtration integrated systems for Baker's yeast wastewater treatment: experimental and economic evaluation. *Cleaner Chemical Engineering*, **3**, 100032.
- Amuda, O.S., & Amoo, I.A. (2007). Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, **141**(3), 778-783.
- Bolto, B., & Gregory, J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*, **41**(11), 2301-2324.
- Banat, I.M., Nigam, P., Singh, D., & Marchant, R. (1996). Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: a review. *Process Biochemistry*, **31**(7), 689-697.
- Blonskaja, V., & Zub, S. (2009). Possible ways for post-treatment of biologically treated wastewater from yeast factory. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **17**(4), 189-197.
- Dereli, R. K., Özgün, H., Erşahin, M. E., Koyuncu, İ., Altınbaş, M., & Öztürk, İ. (2017). Evaporasyon prosesinin maya endüstrisi atıksu karakterizasyonu ve arıtılabilirliğine etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **19**(56), 389-400.
- Faria-Oliveira, F., Puga, S., & Ferreira, C. (2013). *Yeast: world's finest chef*. In *Food Industry*. IntechOpen.
- Gengec, E., Koby, M., Demirbas, E., Akyol, A., & Oktor, K. (2012). Optimization of baker's yeast wastewater using response surface methodology by electrocoagulation. *Desalination*, **286**, 200-209.
- Gladchenko, M., Starostina, E., Shcherbakov, S., Versprille, B., & Kalyuzhnyi, S. (2004). Combined biological and physico-chemical treatment of baker's yeast wastewater including removal of coloured and recalcitrant to biodegradation pollutants. *Water Science and Technology*, **50**(5), 67-72.
- Jiang, Y., Zhang, Y., Banks, C., Heaven, S., & Longhurst, P. (2017). Investigation of the impact of trace elements on anaerobic volatile fatty acid degradation using a fractional factorial experimental design. *Water Research*, **125**, 458-465.

- Karlović, A., Jurić, A., Ćorić, N., Habschied, K., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2020). By-products in the malting and brewing industries-re-usage possibilities. *Fermentation*, 6(3), 82.
- Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A.F., Alp, K., Arıkan, O.A., İnsel, H.G., ..., & Oğuz, T.C. (2012). Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. *Atıksu Arıtma Tesislerinin*.
- Kobya, M., & Delipinar, S. (2008). Treatment of the baker's yeast wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1-3), 1133-1140.
- Khristoskova, S. (1984). Possibility of purification and decoloring wastewater from the yeast industry by electrocoagulation. *Nauchni Tr-Plovdivski Univ.(Bulg.)*, 22, 177-185.
- Kurade, M.B., Waghmode, T.R., Xiong, J.Q., Govindwar, S.P., & Jeon, B.H. (2019). Decolorization of textile industry effluent using immobilized consortium cells in upflow fixed bed reactor. *Journal of Cleaner Production*, 213, 884-891.
- Li, Y., Zhang, Y., & Chen, Y. (2016). Performance evaluation of an anaerobic membrane bioreactor for brewery wastewater treatment. *Water Research*, 98, 285-295.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Mussatto, S.I. (2014). Brewer's spent grain: a review with an emphasis on food and industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(7), 1264-1275.
- Mutlu, S.H., Yetis, U., Gurkan, T., & Yilmaz, L. (2002). Decolorization of wastewater of a baker's yeast plant by membrane processes. *Water research*, 36(3), 609-616.
- Öztürk, D., Aladağ, E., Yılmaz, A. E., Boncukcuoğlu, R., & Bayram, T. (2019). Mezbaha Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 738-748.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247-255.
- S.K.K. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. *Resmi Gazete Sayısı*, 25687.
- Zhang, Z., Jing, R., He, S., Qian, J., Zhang, K., Ma, G., ..., & Li, Y. (2018). Coagulation of low temperature and low turbidity water: Adjusting basicity of polyaluminum chloride (PAC) and using chitosan as coagulant aid. *Separation and Purification Technology*, 206, 131-139.
- Zhou, Y., Liang, Z., & Wang, Y. (2008). Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. *Desalination*, 225(1-3), 301-311.