



ISSN 2564-7377 (Online)



**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Giresun University Institute of Natural Sciences**

**The Black Sea Journal of Sciences**

**KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ  
KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**

**Cilt 12 Sayı 2**

**2022**

**Volume 12 Issue 2**



**K F B D**

<http://www.dergipark.org.tr/kfbd>



Cilt 12 Sayı 2  
Volume 12 Issue 2 2022

ISSN 2564-7377 (Online)



**KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**  
**THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES**

**Giresun Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Giresun University**  
**Institute of Natural Sciences**

**Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi**  
**The Black Sea Journal of Sciences**

Cilt 12, Sayı 2, Haziran 2022  
Volume 12, Issue 2, June 2022

**ISSN: 2564-7377 (Online)**

## **Dergi Hakkında**

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir. Karadeniz Fen Bilimleri dergisi 2010 yılından itibaren yılda iki kez yayınlanan hakemli ve akademik bir dergidir. Dergimizde mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki bilimsel makaleler yayınlanır. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanan hakemli akademik bir dergidir. Gönderilecek eserlerde; alanında bir boşluğu dolduracak özgün bir araştırma makalesi olması şartı aranır. Dergimizde hakemlerin ve yazarların birbirlerine karşı kimliklerinin gizli tutulduğu çift taraflı kör hakem sistemi kullanılır. Yayın Kurulu, dergiye gönderilen eserlerin öncelikle yayın ilkeleri ile dergi kapsamı, bilimsel içerik ve şekil açısından inceler. Ön incelemeden geçen eserler değerlendirilmesi amacıyla en az 2 hakeme gönderilir. Eserin dergiye kabul edilebilmesi için 2 hakemden de olumlu değerlendirme alması gerekir. Gerektiği durumlarda 3. hakemden de değerlendirme sürecine katkı sağlaması istenebilir. Son karar editöre aittir. Yayınlanmak üzere gönderilen makaleler ayrıca intihal tespitinde kullanılan özel bir program aracılığıyla makalelerin daha önce yayınlanmamış olduğu ve intihal içermediği teyit edilir. Kabul edilen eserin yayınlanma süreci, eserin alındığı tarihten itibaren 2-6 ay sürmektedir. Dergiye makale gönderimi ücretsizdir. Yayına kabul edilen makaleden de hiçbir ücret talep edilmez. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi açık erişim politikasını benimsemiş bir dergidir.

## **About The Journal**

The Black Sea Journal of Sciences is an international peer reviewed journal published by Giresun University's Institute of Science and Technology. The Black Sea Journal of Sciences peer-reviewed academic journal that has been biannually published since 2010. Our journal publish papers within engineering and the basic sciences. The Black Sea Journal of Sciences is a peer-reviewed academic journal that is published biannually in June and December. Prospective papers are expected to fill a gap in their respective field through innovative research. Our journal employs a bilateral blind review system in which the personal identities of the reviewers and authors are kept confidentially from one another, and whereby the parties involved are expected not to reveal themselves. The publishing team first examines (the) prospective papers in accordance with the criteria of the journal's scope, as well as for scientific content and format. After the pre-review step, the papers are forwarded to at least two reviewers for evaluation. In order for a paper to be accepted, it must receive positive evaluations from both reviewers. Papers can be requested to be reviewed again if needed and evaluation of a third reviewer should necessity warrant it. The final decision is made by the editor. Papers that are to be submitted for publishing are first controlled using special detection software in order to verify that they have not been previously published elsewhere, as well as to ensure that they do not include any plagiarized content. Publishing takes between 2 to 6 months from the acceptance date. The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge. The Black Sea Journal of Sciences has an open access policy.

## Sahibi / Owner

Prof. Dr. Yılmaz CAN

Giresun Üniversitesi Adına (Rektör)

## Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Bahadır KOZ  
Giresun Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

## Yardımcı Editörler / Assistant Editors

Doç. Dr. Selin KALKAN  
Giresun Üniversitesi  
Doç. Dr. Yasemin HACIOĞLU  
Giresun Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ  
Giresun Üniversitesi

## Alan Editörleri / Field Editors

Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK  
Prof. Dr. Bahadır KOZ  
Doç. Dr. Seydahmet ÇAY  
Doç. Dr. Mehmet Soner ENGİN  
Doç. Dr. Onur Özdal MENGİ  
Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL  
Doç. Dr. Selin KALKAN  
Doç. Dr. Volkan BAŞER  
Doç. Dr. Murat GÜL  
Doç. Dr. Erdiñ ŞAHİN  
Doç. Dr. Tayfun ARSLAN  
Doç. Dr. Eren KÖMÜRLÜ  
Doç. Dr. Serdal KAYA  
Doç. Dr. Yasemin HACIOĞLU  
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ  
Dr. Öğr. Üyesi Serdar SOYLU  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇELİK  
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATASOY  
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÇOLAK TOKA  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KILINÇ

## Mizanpaj Editörleri / Manuscript Editors

Doç. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU  
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ

## Yazışma Adresi / Correspondence Address

Giresun Üniversitesi Fen Bilimlerle Enstitüsü  
Güre Yerleşkesi 28200 / Giresun  
Tel: 0 (454) 310 10 87

E-mail: [kfbd@giresun.edu.tr](mailto:kfbd@giresun.edu.tr)

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kfbd>

## Dil Editörleri / Language Editors

Öğr. Gör. Öznur GÜLER  
Öğr. Gör. Yasin BİÇER

## İstatistik Editörleri / Statistical Editors

Prof. Dr. Erol EĞRİOĞLU  
Doç. Dr. Eren BAŞ

## Editör Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Alp Yalçın TEPE  
Prof. Dr. Birol ERTUĞRAL  
Prof. Dr. Birsen Şengül OKSAL  
Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK  
Prof. Dr. Elif Neyran SOYLU  
Prof. Dr. Cengiz MUTLU  
Prof. Dr. Hakan BEKTAŞ  
Prof. Dr. Saim TOPÇU  
Prof. Dr. Hasan Hüseyin AKSU  
Prof. Dr. Hakan ADATEPE  
Prof. Dr. İmdat İŞCAN  
Doç. Dr. Mustafa Recep KAÇAL  
Doç. Dr. Murat YOLCU  
Dr. Öğr. Üyesi Şerif Ali DEĞİRMENÇAY  
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul YOLCU

## Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Baki HAZER (Bülent Ecevit Üniversitesi)  
Prof. Dr. Telhat ÖZDOĞAN (Amasya Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hümeysra BATI (Ondokuzmayıs Üniversitesi)  
Prof. Dr. Metin H. ACAR (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Zeki AYTAÇ (Gazi Üniversitesi)  
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Yusuf AYVAZ (Yıldız Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Dursun SARAYDIN (Cumhuriyet Üniversitesi)  
Prof. Dr. Emin KASAP (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)  
Prof. Dr. Okan Zafer YEŞİLEL (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mithat KAYA (Marmara Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mustafa KURT (Ahi Evran Üniversitesi)  
Prof. Dr. Nazmi POLAT (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)  
Prof. Dr. Nezihe ÇALIŞKAN (Gazi Üniversitesi)  
Prof. Dr. Veysel Turan YILMAZ (Uludağ Üniversitesi)  
Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

## Yazı İşleri Müdürü / Editorial Manager

Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ

## Grafik-Tasarım / Graphic-Design

Dr. Öğr. Üyesi Erkan GÜLER

## Redaksiyon / Redaction

Dr. Öğr. Üyesi Fikret USLUCAN

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases.

Tr Dizin, BASE, idealonline, Google Scholar, Index Copernicus, InfoBase Index, ResearchBib, SIS (Scientific Indexing Services), Akademik Dizin, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ) .

## İçindekiler/Contents

### Araştırma Makaleleri / Research Articles

Savfa/Page

**Optical Properties of AlInN/AlN HEMTs in Detail**

AlInN/AlN HEMT'in Detaylı Optik Özellikleri

Ömer AKPINAR, Ahmet BİLGİLİ, Mustafa ÖZTÜRK, Süleyman ÖZÇELİK

521-529

**Taranmış ve Taranmamış İsrırgan Lifi Takviyeli /Polyester Kompozitlerin Ses Absorbsiyon Davranışlarının İncelenmesi**

Investigation of the Sound Absorption Behavior of Combed and Uncombed Fiber Reinforced / Polyester Composites

Kenan BÜYÜKKAYA

530-544

**Microbial Characterization of Streptomyces Isolates from Oil Contaminated Soil**

Petrolle Kirlenmiş Toprakta Elde Edilen Streptomyces İzolatlarının Mikrobiyal Karakterizasyonu

Elif ÇİL, Kamil IŞIK

545-559

**On Absolute Cesa'ro Series Space And Certain Matrix Transformations**

Mutlak Cesa'ro Seri Uzayı Ve Bazı Matris Dönüşümleri

Fadime GÖKÇE

560-570

**Forecasting Monthly Housing Sales to Foreigners with Type 1 Fuzzy Regression Functions Approach Based on Ridge Regression**

Ridge Regresyona Dayalı Tip 1 Bulanık Regresyon Fonksiyonları Yaklaşımı ile Yabancılara Yapılan Aylık Konut Satışı Öngörüsü

Minel DEMİRKAN PIŞKIN, Eren BAŞ

571-583

**Determination of Trace Elements, Heavy Metals Content, and Free Radical Scavenging Activity of the Pigments Extracted of Donax trunculus shells Gathered from Giresun Coast**

Giresun Sahilinden Toplanan Donax trunculus Kabuklarından Elde Edilen Pigmentlerin İz Element, Ağır Metal İçeriği ve Serbest Radikal Giderme Aktivitelerinin Belirlenmesi

Ayşegül ÇEBİ, Emine Gülçeri GÜLEÇ PEKER, İspandiyar RUSTAMZADA, Elif SOYLU

584-592

**Çoklu Yükleme Koşulları Altında Yük Vagonu Şasisinin Topoloji Optimizasyonu**

Topology Optimization of Freight Wagon Chassis Under Multi Loading Conditions

Emre GÖRGÜN

593-604

**Amata (Syntomis) caspia (Staudinger, 1877) (Lepidoptera: Erebidae)'nın Dış ve Genital Morfolojisi ile Biyoeolojisi Üzerinde Bazı Gözlemler**

Some Observations on External and Genital Morphology and Bioecology of Amata (Syntomis) caspia (Staudinger, 1877) (Lepidoptera: Erebidae)

Muhammed TATAR, Erol ATAY, Göksel TOZLU

605-618

**Yeraltı Barajlarında Plastik Beton Perdenin Uygulaması, Geçirimsizlik Performansı ve Korunması**

Application, Impermeability Performance and Protection of Slurry Concrete Wall in Underground Dams

Ahmet APAYDIN

619-633

**Malatya İli ve İlçelerinde Çevresel Gama Radyasyonunun Ölçümü, Doz Hızı ve Ömür Boyu Kanser Riski Değerlendirmesi**

Environmental Gamma Radiation Measurement, Dose Rate and Lifetime Cancer Risk Assessment in Malatya Province and its Districts

Halime KAYAKÖKÜ

634-644

**Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi**

Evaluation of Water Quality of the Middle Black Sea Region, Kızılırmak and Yeşilirmak Rivers Using Water Quality Index and Statistical Analysis

Arife ŞİMŞEK, Hatice TÜRKTEN, Gülfem BAKAN

645-662

**EDM Hızlı Delik Delme Parametrelerinin Kerf ve İşlem Süresine Etkileri**

Effects of EDM Fast Drilling Parameters on Kerf and Process Time

Ferhat CERİTBİNMEZ

663-675

<b>Öz nitelik Seçici Olarak Balina Optimizasyon Algoritması Kullanarak Türkçe Metinlerde Siber Zorbalığın Tespiti</b> Detection of Cyberbullying in Turkish Texts Using Whale Optimization Algorithm as Feature Selector <b>Deniz Furkan KANBAK, Mümine KAYA KELEŞ</b>	<b>676-690</b>
<b>New approaches in choosing a suitable growth model: Mean Curvature and Arc Length Values</b> En uygun model seçimi için yeni yaklaşımlar: Ortalama Eğrilik ve Yay Uzunluğu Değerleri <b>Volkan ODA, Mehmet KORKMAZ, Halil ŞENOL</b>	<b>691-702</b>
<b>Investigation of Cholinesterase Inhibitor Effects of Some Chalcone Substituted Metallophthalocyanines</b> Bazı Kalkon Sübstitüe Metalofthalosiyaniinlerin Kolinesteraz İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi <b>Aşkın TEKİN, Tayfun ARSLAN</b>	<b>703-711</b>
<b>Karataş Deresi (Pazaryolu-Erzurum)'nin Bazı Hidrobiyolojik, Hidrolojik ve Fizikokimyasal Su Kalitesi Özellikleri, Balık Faunası ve Hidro-Elektrik Santral Projelendirilmesi Açısından Değerlendirilmesi</b> Evaluation of Karataş Stream (Pazaryolu-Erzurum) in terms of Some Hydrobiological, Hydrological and Physicochemical Water Quality Characteristics, Fish Fauna and Hydro-Electric Power Plant Project <b>Bülent VEREP, Davut TURAN, Cengiz MUTLU</b>	<b>712-724</b>
<b>Şanlıurfa'da Tüketilen Meyan Şerbetinin Mikrobiyolojik Kalitesi</b> Microbiological Quality of Licorice Sherbet Consumed in Şanlıurfa <b>Ebru UYAR, Hava GÜRLEK</b>	<b>725-735</b>
<b>Mide Kanserine Yönelik AGS Hücrelerinden Geliştirilen Aşı Formülasyonunun İmmünostimülan Etkilerinin Değerlendirilmesi</b> Evaluation of The Immunostimulant Effects of The Vaccine Formulation Developed from AGS Cells for Gastric Cancer <b>Murat IHLAMUR, Yağmur HAMURCI, Kübra KELLECI</b>	<b>736-748</b>
<b>Termoplastik Hibrit Kompozitlerde Hammadde Karışım Oranı Optimizasyonu için Gri Kurt Algoritmasının Kullanılması</b> Using Gray Wolf Algorithm for Raw Material Mix Ratio Optimization in Thermoplastic Hybrid Composites <b>Tuğrul ÇAVDAR, Ercüment ÖZTÜRK</b>	<b>749-762</b>
<b>CBS Yardımıyla Giresun İli Bulancak İlçesinin Arazi Örtüsü ve Topoğrafik Özelliklerinin Tarımsal Yönden Değerlendirilmesi</b> Agricultural Evaluation of Land Cover and Topographical Characteristics of Bulancak District of Giresun Province with the Help of GIS <b>Bahadır ATMACA</b>	<b>763-781</b>
<b>Determination of Phenological and Morphological Characteristics of Some Standard Pear Cultivars on Different Quince Clonal Rootstocks</b> Farklı Ayva Klon Anaçları Üzerine Aşılı Standart Bazı Armut Çeşitlerinin Fenolojik ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi <b>Tahsin KURT, Ahmet ÖZTÜRK, Zaki A FAIZI</b>	<b>782-801</b>
<b>Design and Analyse of Structured H-infinity Controller for Level Control of Nonlinear Quadruple Tank Systems</b> Doğrusal Olmayan Dörtlü Tank Sistemlerinin Seviye Kontrolü için Yapılandırılmış H-sonsuz Denetleyici Tasarımı ve Analizi <b>Hasan BAŞAK</b>	<b>802-820</b>
<b>(E)-4-bromo-5-floro-2-(((4-(fenilamino)fenil)imino)metil)fenol Bileşiğinin Kimyasal Aktivite ve Spektroskopik Çalışmaları</b> Chemical Activity and Spectroscopic Studies of (E)-4-bromo-5-fluoro-2-(((4-(phenylamino)phenyl)imino)methyl)phenol Compound <b>Sedanur KALECİK, Enis GÜZEL, Onur Erman DOĞAN, Erbil AĞAR, Metin YAVUZ</b>	<b>821-840</b>
<b>Çok Amaçlı Genetik Algoritma Yöntemi Kullanılarak Enine Laminasyonlu Senkron Relüktans Motor Optimizasyonu</b> Optimization of Transverse-Laminated Synchronous Reluctance Motor by Using Multi-Purpose Genetic Algorithm Method <b>Hasan ÇAMCI, Onur Özdal MENGİ, Serdal ARSLAN</b>	<b>841-852</b>

<b>Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması- Genetik Algoritma ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritma Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması</b>	<b>853-879</b>
Energy Management and Optimization of a Hybrid Energy System by Particle Swarm Optimizing Algorithm- Genetic Algorithm and Gray Wolf Optimizing Algorithm Technique: A case study for Yalova University <b>Aykut Fatih GÜVEN, Nuran YÖRÜKEREN</b>	
<b>Chemical and Physicochemical Contents and Bioactivity of Black Garlic</b>	<b>880-891</b>
Siyah Sarımsağın Kimyasal ve Fizikokimyasal İçerikleri ve Biyoaktivitesi <b>Cengiz ÇORBACI</b>	
<b>Giresun'da İç Ortam Havasındaki PAH Bileşenlerinin Mevsimsel Olarak Belirlenmesi</b>	<b>892-904</b>
Seasonal Determination of PAH Components in Indoor Air in Giresun <b>Aysun TÜRKMEN, Alev ELKAYA, Mustafa TÜRKMEN</b>	
<b>The removal of foodborne pathogen biofilms with the treatment of ultrasound and/or organic acid</b>	<b>905-915</b>
Ultrason ve/veya organik asit muamelesiyle gıda kaynaklı patojen biyofilmlerin uzaklaştırılması <b>Emel ÜNAL TURHAN, Süleyman POLAT</b>	
<b>Investigation Of Diabetes Data with Permutation Feature Importance Based Deep Learning Methods</b>	<b>916-930</b>
Diyabet Verilerinin Permütasyon Önem Özelliği Temelli Derin Öğrenme Yöntemleriyle İncelenmesi <b>Mehmet İsmail GÜRSOY, Ahmet ALKAN</b>	
<b>Ardışık Gözlem İstasyonu Verileri ile Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Yöntemi Kullanılarak Akım Tahmin Çalışması</b>	<b>931-945</b>
Streamflow Prediction Study with Sequential Gauging Station Data Using Multiple Nonlinear Regression Method <b>Evren TURHAN</b>	
<b>Alüminyum Matrisli Kompozitler İçin En Uygun Takviye Malzemesinin AHP Yöntemi ile Seçimi</b>	<b>946-963</b>
Selection of the Most Appropriate Reinforcement Material for Aluminum Matrix Composites by AHP Method <b>Temel VAROL, Yaşam KANDEMİR</b>	
<b>Saçtırma Yöntemi ile Üretilen Işığa Duyarlı Germanyum Katkılı Tungsten Oksit Filmin Elektriksel Karakterizasyonu</b>	<b>964-975</b>
Electrical Characterization of Photosensitive Germanium Doped Tungsten Oxide Film Produced by Sputtering Method <b>Mustafa Şükrü KURT</b>	
<b>Sarp-Giresun Otoyol Çevresindeki Yapraklı Karayosunlarında Ağır Metal Analizleri</b>	<b>976-994</b>
Heavy Metal Analysis in Mosses Around Sarp-Giresun Highway <b>Bahadır KOZ</b>	
<b>Rüzgâr Enerji Santrali Değerlemesinde Geleneksel Değerleme Yöntemi ile Monte Carlo Simülasyonu'nun Karşılaştırılması</b>	<b>995-1016</b>
Comparison of Traditional Valuation Method and Monte Carlo Simulation in Wind Power Plant Valuation <b>Duygu BIYIKLI, Faik Ahmet SESLİ, Pelin KASAP</b>	
<b>TiO2 Nanoparçacık Kaplı Pamuklu Kumaşın Fotokatalitik ve Antibakteriyel Özelliklerinin İncelenmesi</b>	<b>1017-1031</b>
Investigation of Photocatalytic and Antibacterial Properties of TiO2 Nanoparticules Coated Cotton Fabric <b>Agah Oktay ÖZDEMİR, Mehmet KUZUCU, Eda KELESGUNER, Bilge DOĞAN, Bülent ÇAĞLAR</b>	
<b>Su Numunelerinde Spektrofotometrik Gadolinium Tayini</b>	<b>1032-1040</b>
Spectrophotometric Determination of Gadolinium in Water Samples <b>Zekerriya BAHADIR</b>	
<b>Altınkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden Örnekleilmiş Olan Sazan Balığı (Cyprinus carpio L., 1758)' nın Otolit Şekil ve Biyometrisindeki Varyasyonlar</b>	<b>1041-1053</b>
Variations in Otolith Shape and Biometry of Common Carp (Cyprinus carpio L., 1758) Sampled from Altınkaya Dam Lake and Bafra Fish Lakes <b>Aykut AYDIN, Melek ÖZPİÇAK, Semra SAYGIN, Enes HANÇER, Savaş YILMAZ, Nazmi POLAT</b>	
<b>Pandemi Sürecinde KYK Yurtlarında Kalan Öğrenciler İçin Karantina Yeri Seçimi</b>	<b>1054-1068</b>
Quarantine Place Selection for Students Staying in KYK Dormitories During the Pandemic <b>Zeynep BİLEN, Merve YILDIZ, Beyza Nur PEÇENEK, Tuğba DANIŞAN, Tamer EREN</b>	

<b>An Innovative Approach for Numerical Solution of the Unsteady Convection-Dominated Flow Problems</b> Kararsız Konveksiyon Ağırlıklı Akış Problemlerinin Sayısal Çözümü için Yenilikçi bir Yaklaşım <b>Osman ÜNAL Nuri AKKAŞ</b>	<b>1069-1080</b>
<b>Clonal Selection of ‘Mincane’ Hazelnut cv: Physical Properties</b> Mincane Fındık Çeşidinde Klon Seleksiyonu: Fiziksel Özellikler <b>Ali TURAN</b>	<b>1081-1097</b>
<b>Generating a Matlab Code with Parameter Optimization in Gearbox</b> Dişli Kutusu Tasarımında Parametre Optimizasyonu İçeren Bir Matlab Kodunun Oluşturulması <b>Musa DEMİR Faruk GÜNER</b>	<b>1098-1107</b>
<b>Comparison of the Rheological Behavior of Iso- and Syndiotactic Polypropylenes</b> İzo- ve Sindiyotaktik Polipropilenlerin Reolojik Davranışının Karşılaştırılması <b>Fatma DİNÇ</b>	<b>1108-1121</b>
<b>Dengesiz Veri Kümelerinde Topluluk Yöntemlerine Dayalı Melanom Sınıflandırılması</b> Ensemble Methods-Based Melanoma Classification in Imbalanced Datasets <b>Elif KANCA, Selen AYAS</b>	<b>1122-1137</b>



## Optical Properties of AlInN/AlN HEMTs in Detail

Ömer AKPINAR<sup>1\*</sup>, Ahmet Kürşat BİLGİLİ<sup>2</sup>, Mustafa Kemal ÖZTÜRK<sup>3</sup>, Süleyman ÖZÇELİK<sup>4</sup>

### Abstract

In this study, the optical properties of AlInN/AlN high electron mobility transistor (HEMT) structure, grown on c-oriented sapphire with Metal-Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) technique, being investigated. Optical characterization is made Kubelka-Munk method. Transmittance, absorbance, and reflectance are investigated in detail. Also, the Kubelka-Munk theory is employed to determine the forbidden energy band gap of InN by using special functions. The energy band gap obtained by this method was compared.

**Keywords:** MOCVD, HEMT, AlInN/InN, Transmittance, Kubelka-Munk Method, Mobility.

## AlInN/AlN HEMT'in Detaylı Optik Özellikleri

### Öz

Bu çalışmada, Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD) tekniği ile c-yönelimli safir üzerinde büyütülen AlInN/AlN yüksek elektron hareketli transistör (HEMT) yapısının optik özellikleri incelenmiştir. Optik karakterizasyon Kubelka-Munk yöntemiyle yapılmıştır. Geçirgenlik, absorpsiyon, yansımaya detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca özel fonksiyonlar kullanarak InN'nin yasak enerji bant aralığını belirlemek için Kubelka-Munk teorisinden yararlanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen enerji bant aralığının karşılaştırılması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** MOCVD, HEMT, AlInN/AlN, Geçirgenlik, Kubelka-Munk Metod, Mobilite.

<sup>1</sup>Gazi University, Photonics Res. and App. Center, 06500, Teknikokullar, Ankara, Turkey, omerakpinar9@gmail.com

<sup>2</sup>Gazi University, Faculty of Science, Physics Dep., 06500, Teknikokullar, Ankara, Turkey, sunkurt4@gmail.com

<sup>3</sup>Gazi University, Photonics Res. and App. Center, 06500, Teknikokullar, Ankara, Turkey, ozturkm@gazi.edu.tr

<sup>4</sup>Gazi University, Photonics Res. and App. Center, 06500, Teknikokullar, Ankara, Turkey, sozcelik@gazi.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5172-8283>,

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3420-4936>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-8508-5714>,

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-3761-3711>

## 1. Introduction

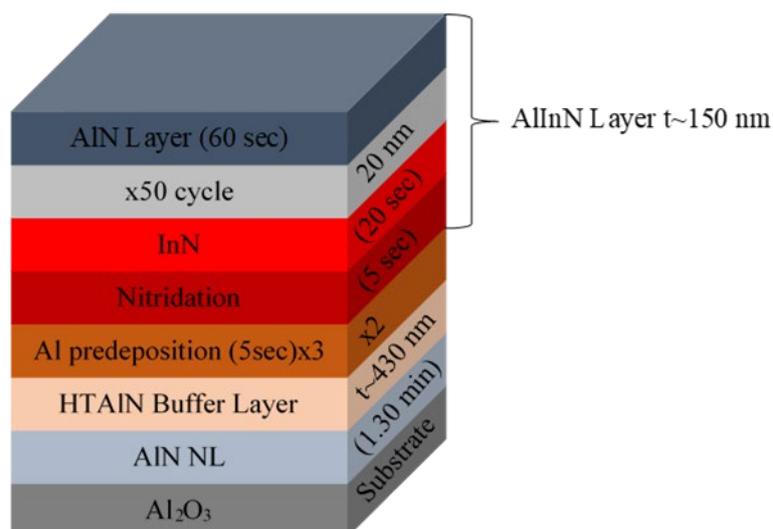
There are many fields in which we can not use conventional III-V group semiconductors. Short wavelength electromagnetic wave emitters are needed for color screens, laser writers, high-density data storage, and underwater communication. High power and high-temperature transistors are needed for automobile motors and developed power multipliers. Silicon and conventional III-V group semiconductors are not suitable for designing and producing optoelectronic devices operating in blue and ultra-violet regions of spectra. Gallium arsenide (GaAs) based optoelectronic devices can not be used at high temperatures. Group-III nitrides are suitable for applications in this field. The band gap of group III nitrides has a direct band structure. Band gap values are 0.7 eV for InN, 3.4 eV for InN and 6.2 eV for AlN (Vurgaftman, 2003; Meyer, 2003). These structures can be used for high temperature transistors and blue-green-violet light emitting devices because of their strong bonds and wide band gaps. Group III nitrides such as InN, InN, and AlN have wide band gaps, significant polarization effects, and hexagonal structure (Aleksan et al, 1991). InN and AlInN play the head role among group III nitrides in terms of technological developments. They have proved themselves in Field-Effect Transistor (FET) applications in the condition of modifying technological problems caused by a big difference between In and N on the ionic scale (Li et al, 2006).

The use of InN in electronic devices started by Pankove and co-workers in 1960, they made an InN-based blue light emitting diode (LED). Manufacturing problems prevented the production of p-doped InN. Studies on InN stopped because high-quality substrates were not present. To overcome this problem InN epitaxial layers are grown on substrates with big lattice mismatch. This procedure resulted in high dislocation density in the structure of device and life of devices was shortened. Through the end of the 20th century, Shuji Nakamura succeeds growth of high-quality InN epitaxial layer on sapphire substrate by using MOCVD (Nakamura, 1991). InN-based structures prepared a good ground for new developments in optoelectronics. At the same time InN has a perfect electron carrying property with its high electron mobility (Xing et al, 2001; Hajlaoui et al, 2016).

In this study Kubelka-Munk theory is employed to determine the forbidden energy band gap of the AlInN/InN structure. In earlier studies by the authors, the band gap was determined by PL and Tau methods. The results of this study are compared with them (Akpınar et al, 2020).

The aim of this study is to calculate the optical band gap using the Kubelka-Munk method and to compare it with its theoretical value.

## 2. Experimental



**Figure 1.** Schematic diagram of AlInN/InN HEMT

A schematic diagram of AlInN/InN HEMT is given in Figure 1. Before the growth of structure, sapphire substrate is kept under hydrogen flow at 1100°C for 10 minutes. After 60 seconds nitration step temperature is decreased to 550°C. Here, LT-AlN and HT-AlN layers are grown between substrate and InN Buffer layers. To perform this period the first temperature is increased to 750°C and pressure is increased to 50 mbars. Later nitration operation is made under 300 sccm NH<sub>3</sub> flow. By adding 15 sccm TMAI flow, LT-AlN nucleation layer is grown for 3 minutes. This layer is a preparation step for the next HT-AlN layer. Also, this layer is responsible for low dislocation density in HT-AlN layer. After growth of LT-AlN nucleation layer temperature is increased to 1130°C in 4 minutes. Increasing temperature to 1130°C in 4 minutes caused the annealing of LT-AlN layer. This step aims to shift of LT-AlN layer to a mono-crystal structure. After annealing, 520 nm thick HT-AlN layer is grown under 25 sccm TMAI flow and 150 sccm NH<sub>3</sub> flow at 25 mbar pressure. The flow of NH<sub>3</sub> is decreased to 40 sccm and growth of the remaining HT-AlN layer is maintained.

Because mobility of Al atoms on the surface of the substrate is low, for gaining high crystal quality high-temperature growth is needed. In addition, during HT-AlN growth period, 50 sccm TMIn flow is given. The presence of In atoms increases the mobility of Al atoms but In atoms can not diffuse in AlN crystal structure at this temperature. HT-AlN layer also plays a barrier role towards oxygen atoms in sapphire substrate. Oxygen atoms pass through the InN buffer layer and change its electronic properties by decreasing its resistance. HT-AlN layer prevents diffuse of oxygen atoms into InN buffer layer and helps the formation of high resistant InN. After HT-AlN layer, the first InN layer with a thickness of 90 nm at 200 mbar pressure and 1000°C under 1300 sccm NH<sub>3</sub> and 10 sccm

TMGa flows. Later in 5 minutes temperature and NH<sub>3</sub> flow increased to 1050°C and 1500 sccm respectively. Under these conditions, 800 nm thick second InN layer is grown. The rapid growth step is InN by changing the temperature to 1060°C and flows of NH<sub>3</sub> and TMGa to 1800 sccm and 17 sccm respectively for the third InN layer with a thickness of 110 nm. After this layer, the temperature parameter is changed to 1075°C and a 300 nm thick InN layer is grown. Later at 1050°C and 750°C two additional InN layers are grown with a thickness of 150 nm and 5 nm respectively. Reactor conditions are changed for the growth of 1-2 nm thick AlN interlayer. Reactor pressure and NH<sub>3</sub> flow rate decreased to 50 mbar and 210 sccm. Temperature is kept constant and 10 sccm TMAI flow is given. For the growth of 25 nm, thick AlInN barrier layer 5 sccm TMGa and 500 sccm NH<sub>3</sub> flow is given. As the last step by keeping other parameters constant TMAI flow is stopped and a 3 nm thick InN cap layer is grown.

### 3. Results & Discussion

Transmittance is a physical property that makes light transmit from a material without scattering possible. On a macroscopic scale, it can be said that photons act by obeying the Snell law. Semi-transmittance is an up-group in transmittance. It permishes light to be transmitted but it does not have to obey Snell's law. Photons may present a dispersion behavior in both interfaces if there is a variation in diffraction. The opposite term for semi-transmittance is opaque. Semi-transparent materials may have any combination to form a perfect spectrum. In figure 2 transmittance versus wavelength plot can be seen. According to this plot, the transmittance is dominant at higher wavelengths of incident light. Approximately after 700 nm wavelength value transmittance reaches saturation according to the plot. Transmittance starts at a 200 nm wavelength value. Saturation of transmittance may be related to decreasing photon energy.

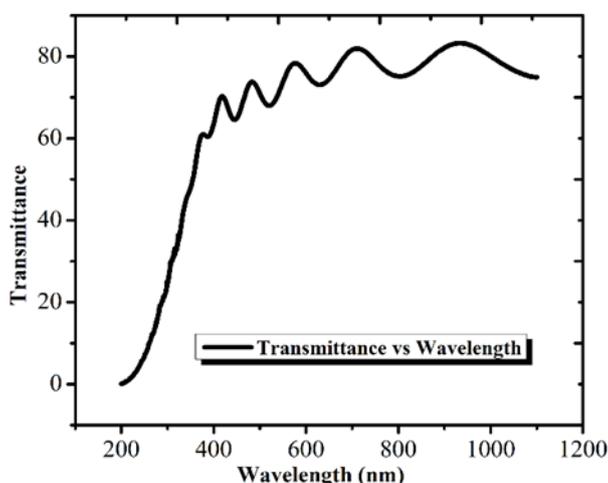
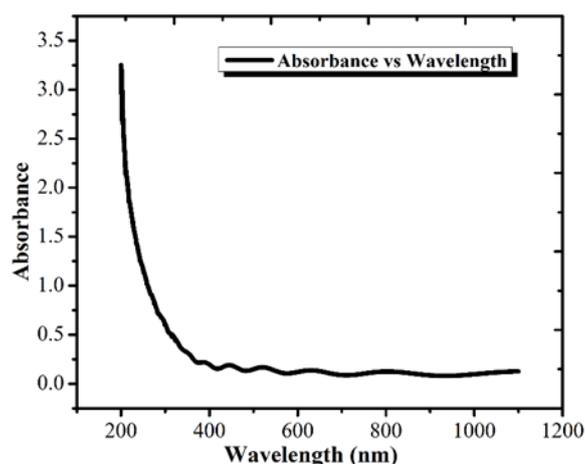


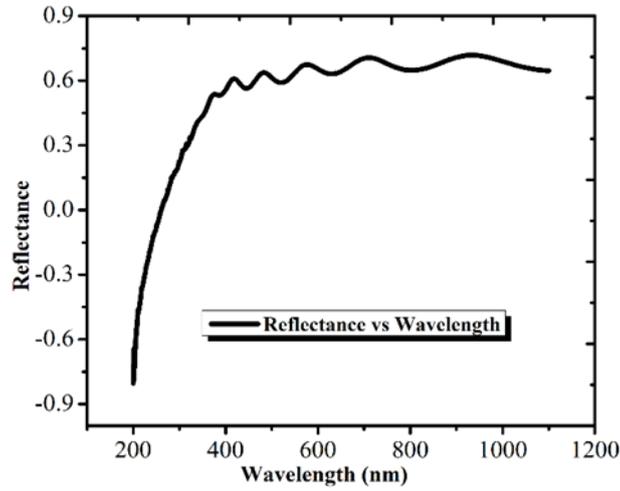
Figure 2. Transmittance vs wavelength for AlInN

Absorption is the suction of light by a material. Every material can only absorb light at its color frequency. Electrons in orbitals jump higher energy levels by absorption. Light is an electromagnetic wave with a specific energy. The energy of a photon can be calculated by  $E=h*\nu$ . The energy of light is inversely proportional to wavelength. If an atom is excited by a photon with an energy equal to the difference in energy levels electrons jump upper energy level and the incident photon is absorbed. This physical event is called absorbance. In figure 3 absorbance versus wavelength plot can be seen. Absorbance starts at 200 nm wavelength, it decreases with decreasing incident photon energy and reaches a saturation value at approximately 400 nm wavelength value. This behavior may be attributed to decreasing photon energy.

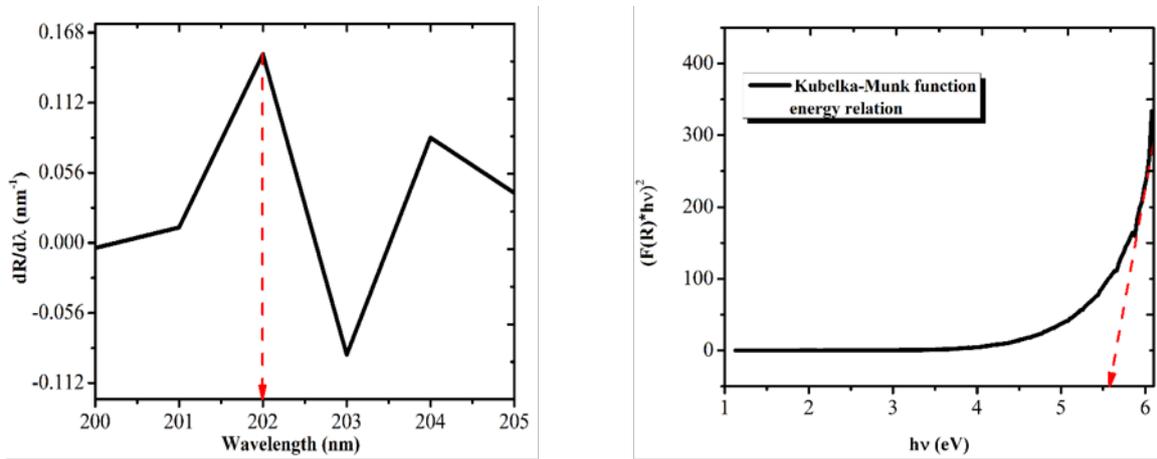


**Figure 3.** Absorbance vs wavelength for AlInN

Reflectance may be described as returning of an incident photon to the medium it came from after hitting a surface. In classical electrodynamics, as described in Maxwell's equations light is accepted as an electromagnetic wave. Light waves reaching the surface of material causes small polarized oscillations. All these waves make reflection according to the Huygens-Fresnel principle. The electric field of light interacts with electrons of the target material, moving electrons cause new fields noticed as reflected light. In figure 4 reflectance versus wavelength plot can be seen. According to this plot, reflectance starts at 200 nm, increases until 400 nm wavelength value, and stays approximately constant after 400 nm. This situation implies that increasing wavelength that is decreasing photon energy makes reflectance constant. This result may be attributed to the penetration obscurity of photons increasing as the wavelength of incident light decreases.



**Figure 4.** Reflectance vs wavelength for AlInN



**Figure 5.**  $dR/d\lambda$  vs wavelength and Kubelka-Munk function- photon energy relation

For determining the forbidden energy band gap of InN, the Kubelka-Munk theory is employed. Kubelka-Munk's theory is a mathematical model including the transfer and reflection of two radiation currents over homogeneous opaque support dependent on some assumptions. These assume are:

- 1- The object must have a constant thickness
- 2- Lumination must be homogeneous
- 3- Optical interactions at edges may be neglected
- 4- Optical dispersion has homogeneous dispersion in a smaller region than sample thickness.

This theory is recommended by Schuster (Groh, 1992; Osa, 2020). It explains the analysis of the interaction of incident light with matter. According to this theory, matter, assumed as homogeneous, isotropic, and opaque, is illuminated with monochromatic light. In this model scattered reflection data are used.

Kubelka-Munk Function can be seen in equation (1),

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

Here R is the reflectance. To calculate the forbidden energy band gap of InN, reflection values should be converted to absorbance to do this equation (2) is employed,

$$\frac{K}{S} = F(R) \quad (2)$$

In this equation, S is the scattering factor and K is absorbance. To calculate the optical band gap of materials, one of the best methods is the differential reflectance method. In this method firstly, the first derivative of reflectance data versus wavelength is taken and the  $dr/d\lambda$  versus wavelength plot is drawn. The optical band gap can be calculated by using the wavelength value corresponding to the center of the maximum peak in this plot. As can be seen in figure 5 center of maximum peak value is 202 nm. The band gap value corresponding to this value is approximately 6 eV.

To calculate the optical band gap by using the Kubelka-Munk theory, first reflectance data should be converted to absorbance data. To determine the optical band gap equation (3) can be used (Murphy, 2007),

$$\left(\frac{F(R)h\nu}{t}\right)^2 = B(h\nu - E_g) \quad (3)$$

In this equation F(R) is the Kubelka-Munk function, t is thickness, B is a coefficient independent of energy and  $E_g$  is the optical band gap.  $((F(R)h\nu)/t)^2$  The  $2-h\nu$  plot can be seen in figure 5. This plot is used to determine the optical band gap of film. The curve in the plot is extrapolated and the x-axis intercept of it gives an optical band gap. As expected optical band gap value calculated by this method is smaller than the one calculated by the derivative method (Inbaraj, 2018). The reason for this small difference may be defects and variation in carrier density.

#### 4. Conclusions

In this study, the optical properties of the AlInN/AlN HEMT structure are investigated in detail. Transmittance, absorbance, and reflectance spectra are shown and comments are made on them in the text. Kubelka-Munk method and derivative of reflectance methods are employed to determine the optical band gap. The optical band gap is calculated at around 6 eV. The latter method gave a bit

smaller value of the optical band gap than the first method. The reason for this situation is attributed to defects and variation in carrier density.

### Acknowledgments

This work was supported by Presidency Strategy and Budget Directorate (Grant Number: 2016K121220).

### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

This study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- Vurgaftman, I., and Meyer, J. R. (2003). Band parameters for nitrogen-containing semiconductors. *Journal of Applied Physics*, 94(6), 3675-3696.
- Aleksan, R., Bolognese, T., Equer, B., Karar, A., and, Reymond, J. M. (1990). Observation of Single Minimum Ionizing Particles with Amorphous-Silicon Diodes. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section a-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment*, 305(3), 512-516.
- Li, Y., Qian, F., Gredecak, S., Wu, Y., Yan, H., Blom, D. A., and, Lieber, C. M. (2006). Dopant-free GaN/AlN/AlGaIn radial nanowire heterostructures as high electron mobility transistors. *Nano Letters*, 6(7), 1468-1473.
- Nakamura, S. (1991). GaN Growth Using GaN Buffer Layer. *Japanese Journal of Applied Physics Part 2-Letters*, 30(10a), 1705-1707.
- Xing, H., Keller, S., Wu, Y. F., Mccarty, L., Smorchkova, I. P., Buttari, D., Coffie, R., Green, D. S., Parish, G., Heikman, S., Shen, L., Zhang, N., Xu, J. J., Denbaars, S. P., and, Mishra, U. K. (2001). Gallium nitride-based transistors. *Journal of Physics-Condensed Matter*, 13(32), 7139-7157.
- Hajlaoui, M., Sediri, H., Pierucci, D., Henck, H., Phuphachong, T., Silly M., Vaulchier, L., Sirotti, F., Guldner, Y., Belkhou, R., and Ouerghi, A. (2016). High Electron Mobility in Epitaxial Trilayer Graphene on Off-axis SiC(0001). *Scientific Reports*, 22(7), 1-7
- Akpinar, O., Bilgili, A. K., Baskose, U. C., Ozturk, M. K., Ozcelik, S., and, Ozbay, E. (2020). Swanepoel method for AlInN/AlN HEMTs. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, (9969-9973).
- Groh, C. L., Brien, W. J., and, Boenke, K. M. (1992). Differences in color between fired porcelain and shade guides. *Int J Prosthodont*, 5(6), 510-4.



- Osa, R. A., Iparragirre, I., Ortiz, D., and Saiz, J. M. (2020). The extended Kubelka-Munk theory and its application to spectroscopy. *ChemTexts*, 6(2), 1585.
- Murphy, A. B. (2007). Band-gap determination from diffuse reflectance measurements of semiconductor films, and application to photoelectrochemical water-splitting. *Solar Energy Materials& Solar Cells*. 91, 1326–1337.
- Inbaraj, P. F. H., Prince, J. J. (2018). Optical and structural properties of Mg-doped ZnO thin films by a chemical bath deposition method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(2), 935–943.

## **Taranmış ve Taranmamış İsrırgan Lifi Takviyeli /Polyester Kompozitlerin Ses Absorbsiyon Davranışlarının İncelenmesi**

Kenan BÜYÜKKAYA<sup>1\*</sup>

### **Öz**

Bu çalışmada, 2100 rakımda doğal olarak yetişen ısırgan bitkisinden elde edilmiş, ham(taranmamış) ve taranmış lif ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bitkinin farklı kısımlarının (dip,orta,tepe) ses emme özelliklerini belirlemek amacıyla taranmış ve taranmamış lifler, dip, orta ve tepe olmak üzere sınıflandırılmıştır. Polyester matrise farklı hacim oranlarında (2.5, 5, 7.5, 10 %) ısırgan elyafı ve ham elyaf takviye edilerek, polimer kompozit test numuneleri üretilmiştir. Kompozitlerin ses emme katsayıları (normal incidence absorption coefficient), çift mikrofon tekniği ile ölçülmüştür. Liflerin fiziksel özellikleri (yoğunluk, kristalin indeksi, lif çapı) belirlenmiş ve bu özelliklerin ses absorpsiyonuna etkileri tartışılmıştır. Liflerin kesit incelemeleri taramalı elektron mikroskobu görüntüleri kullanılarak ortaya konulmuştur.

İsrırgan takviyeli kompozitlerden elde edilen verilere göre, taranmış ve bitkinin dip ve orta kısımlarından elde edilen lif ile takviye edilen malzemelerin, ses emme açısından daha üstün performans sergilediği belirlenmiştir. Bu farklılığın liflerin fiziksel özelliklerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İsrırgan lifi, kompozit, ses emme, çift mikrofon, fiziksel özellikler.

## **Investigation of The Sound Absorption Behavior of Combed And Uncombed Fiber Reinforced / Polyester Composites**

### **Abstract**

In this study, it was aimed to investigate the sound absorption properties of raw (uncombed) and combed fiber reinforced composites obtained from nettle plant growing naturally at 2100 altitude. In order to determine the sound absorption properties of different parts of the plant (bottom, middle, top), combed and uncombed fibers were classified as bottom, middle and top. Polymer composite test specimens were produced by reinforcing nettle fiber and raw fiber in different volume ratios (2.5, 5, 7.5, 10 %) to the polyester matrix. The sound absorption coefficients (normal incidence coefficient) of the composites were measured by the double microphone technique. The physical properties of the fibers (density, crystalline index, fiber diameter) were determined and the effects of these properties on sound absorption were discussed. Cross-sectional examinations of the fibers were revealed using scanning electron microscope images.

According to the data obtained from the nettle-reinforced composites, it was determined that the combed and fiber-reinforced materials obtained from the bottom and middle parts of the plant showed superior performance in terms of sound absorption. It was concluded that this difference was due to the physical properties of the fibers.

**Keywords:** Nettle fiber, composite, sound absorption, dual microphone, physical properties.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Giresun, Türkiye, kenan.buyukkaya@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8263-0756>

## 1. Giriş

Endüstriyel üretim, artan ulaştırma araçları sayısı ve yetersiz şehir planlaması, gürültü kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu kirliliğin artması insan sağlığı üzerinde; işleme kaybı, stres gibi olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Qui ve ark., 2018). Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalardan bazılarında, takviye malzemesi olarak petrol kökenli lifler yerine, çeşitli doğal lifler kullanılmıştır. Son yıllarda araştırmacılar, farklı doğal lifler kullanarak çevreye duyarlı kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu alanında çok sayıda çalışmayı paylaşmışlardır. (Washington ve ark., 2014).

Kompozit malzemelerin ses absorpsiyonu özellikleri geliştirilerek, çeşitli uygulamalarda yalıtım malzemesi olarak kullanılabilme imkanları, bilim insanlarının ilgisini çekmektedir. Bu kapsamda araştırmacılar doğal malzemeler ile üretilen kompozitlerin ses absorpsiyonu özelliklerini ortaya koymak için birçok araştırma yürütmüşlerdir. Ersoy ve küçük (Ersoy & Küçük,2009) tarafından yapılan çalışmada, çay yapraklarının ve sapının ses absorpsiyon özellikleri incelenmiştir. Çay yaprakları ve saplarının 500 ve 3200 Hz'de birbirine yakın ses absorbe ettikleri belirlenmiştir. Berardi ve Iannace (berardi & Iannace, 2015) kenaf, ağaç, kenevir, hindistan cevizi, mantar, kamış, karton ve koyun yünü gibi doğal liflerin akustik karakterizasyonunu rapor etmiştir. Araştırmada kenevir'in ses emme katsayısının 2000 Hz'de 0,94, ağaç liflerin 1650 Hz'de 0,9, kendir'in 1500-2000 Hz aralığında maksimum 0,98, hindistan cevizi lifi'nin 2000 Hz'de yaklaşık 0,90, mantarın 1600 Hz'de 0,90'nın üzerine çıktığını, su kamışının absorpsiyon katsayısının, hindistan cevizi lifi ile benzerlik gösterdiğini, geri dönüşümlü kartonun 2000 Hz'de 0,80 ve yünün 2000Hz'deki emme katsayısının 0,90'nın üzerinde olduğu bildirilmiştir. Yahya ve arkadaşları tarafından (Yahya ve ark., 2017) kenaf lifi, hindistan cevizi lifi, hurma lifi ile yapılan çalışmada, kenevirin frekans tepe değeri 700-800 Hz aralığında, hindistan cevizi lifi 1000-1075 Hz frekans aralığında, hurma lifinin en yüksek absorpsiyon değeri 3200-3400 Hz frekans aralığında elde edilmiştir. Lima ve arkadaşları (Lima ve ark., 2018) yaptıkları çalışmada, kenevir lifinin ses emme performansını 140-150 kg / m<sup>3</sup>'lük yoğunluğa ve 25-30 mm kalınlığa sahip numunelerde, 500 Hz'de 0.5 ve 1500 Hz'in üzerinde 0.85'e olduğunu belirlemiştir. Zhang ve arkadaşları (Zhang ve ark., 2018) keten lifi-kumaşını dış katman, balsa ağacını da çekirdek olarak kullandıkları keten balsa sandviç epoksi kompozit yapıların 250-4000 Hz'de ses absorpsiyon özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, ses frekansı 1000 Hz'nin üzerindeyken, keten lifi kumaşının ses emme katsayısının 0.5, kritik frekansının 3200 Hz olduğunu ve bu frekanstaki ses absorpsiyonunun 0.96'lık bir tepe değerine ulaştığı bildirilmiştir. Hassan ve arkadaşları (Hassan ve ark., 2020) epoksi matris pamuk, hindistancevizi ve şeker kamışı gibi üç farklı tipte lif atığı ilave ederek kompozit üretmiştir. Çalışmada her bir lif için farklı lif hacim fraksiyonları, (% 10, % 15 ve% 20) kullanıp 3 mm'lik

kompozitlerin ses absorpsiyonu özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüksek ses emme özelliklerine göre, hindistan cevizi lifi, şeker kamışı elyafı, ve pamuk elyafı takviyeli kompozitler olarak sıralandığını ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışma, ısırgan lifi ile takviye edilmiş, kompozitlerin ses absorpsiyon özelliklerini belirlemek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, 2100 rakımda yetişen ısırgan bitkisinin farklı kısımlarından (dip, orta, tepe) elde edilen taranmış ve taranmamış lifler kullanılarak üretilen kompozitlerin ses absorpsiyon özellikleri çift mikrofon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada bitkinin farklı kısımlarından elde edilen liflerin özelliklerinin, kompozitlerin ses absorpsiyon özelliklerine etkileri ortaya konulmuştur. Araştırmanın bulgularına göre, malzemenin fiziksel özelliklerindeki değişim üretilen kompozitlerin ses absorpsiyon özelliklerini de etkilemiştir.

## 2. Material Metot

### 2.1. Material

Isırgan ham lif ve taranmış lifleri, Giresun'da 2100 rakımda doğal olarak yetişen ısırgan otundan (*Urtica dioica* L.) elde edilmiştir. (şekil1). Ham lif klasik yöntem ( kurutma, çürütme, soyma ve tarama) kullanılarak ve taranmış lifler ham lifin taranması ile elde edilmiştir. Bu materyaller, bitkinin farklı kısımlarına göre ayrılarak (dip, orta, tepe), yaklaşık 10 mm. boyutlarında kesilip, ses emme özellikleri belirlenecek kompozitlerin üretimi için kullanılmıştır.



Şekil 1. Ham ve taranmış liflerin görüntüsü

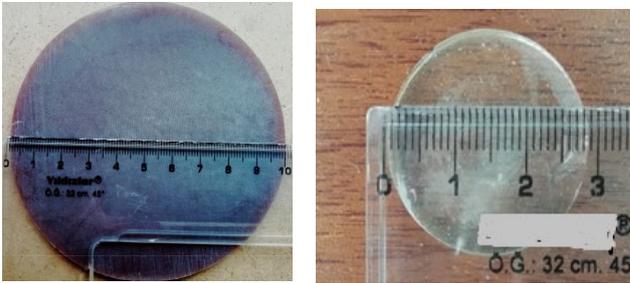
Kompozitlerin oluşturulmasında kullanılan matris malzemesi (UN1866) Poliya firmasından sağlanmıştır. Polyester matris malzemesinin sertleştirilmesi için Kobalt ve MEK-P (Metil Etil Keton Peroksit) kullanılmıştır. Hızlandırıcı ve sertleştirici oranları polyester kütlesine üzerinden %6 lık Kobaltan % 0.1, Mek-P den % 1'dir. Standart Polyester'e ait bazı mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir (Poliya, 2020).

**Tablo 1.** Polyester'in katı haldeki mekanik ve fiziksel özellikleri.

Bending Strength MPa	Bending Modulus MPa	Elong. Bending %	Tensile Strength MPa	Tensile Modulus MPa	Elong. Tensile %	Impact Strength kJ/m <sup>2</sup>	Density gr/cm <sup>3</sup> 23 C°
145	4800	5.5	57	2950	2.6	10	1.1

## 2.2 Test numunelerinin hazırlanması

Matris malzemesine, belirtilen oranda kobalt ilave edilip karışım homojen oluncaya kadar karıştırılmıştır. Daha sonra belirlenen oranda Mek-P katılarak aynı işlem tekrarlanmıştır. Oluşturulan sıvı karışımın içerisine yaklaşık bir santimetre boyutunda kesilerek hazırlanan ısırgan lifleri %2.5, 5, 7.5 ve 10, oranlarında ilave edilmiştir. Hazırlanan sıvı karışım kalıplara dökülmek sureti ile işlenmemiş kompozit test numuneleri üretilmiştir. Daha sonra nihai kür uygulaması için 24 saat boyunca 80 °C fırında bekletilmiştir. Kompozit parçalar işlenerek standart ölçülerde (büyük numuneler 100 mm, küçük numuneler 29 mm ve kalınlık 4mm) test numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. İşlenmiş test numuneleri

## 2.3 Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyon

Liflerin yoğunlukları piknometre yöntemi ile belirlenmiş ve ölçüm sıvısı olarak aseton kullanılmıştır.

Taranmış liflerin çapları optik mikroskop, (OLİMPUS BX 53) kalın liflerin kalınlıkları da kumpaslar yardımı ile belirlenmiştir. Bu cihazlar yardımı ile 150 adet tek lif kalınlık açısından karakterize edilmiştir.

Taramalı elektron mikroskopisi ile görüntüleme, altın kaplamadan sonra JEOL Ltd. JSM-5910 kullanılarak elde edilmiştir.

X-ışını kırınım testi, bakır radyasyonlu gelişmiş Diffractometer (**Europe 600 XRD**) ile gerçekleştirilmiştir. Cu Ka, 40 kV ve 30 mA'da çalıştırılmıştır. Tarama aralığı 10-30, adım boyutu 0.02 ve tarama hızı 0.4 / dakika olarak seçilmiştir. Elde edilen tarama değerleri ve denklem 1 yardımı ile malzemelerin kristalin yüzdeleri belirlenmiştir (Segal, 1959)

$$CrI = (I_{002} - I_{am}) \times 100 / I_{002} \quad (1)$$

Burada  $I_{002}$ , 002 kristalin zirvesinin maksimum noktası ve  $I_{am}$ , 101 ve 002 pikler arasındaki amorf malzemenin en düşük noktasıdır.

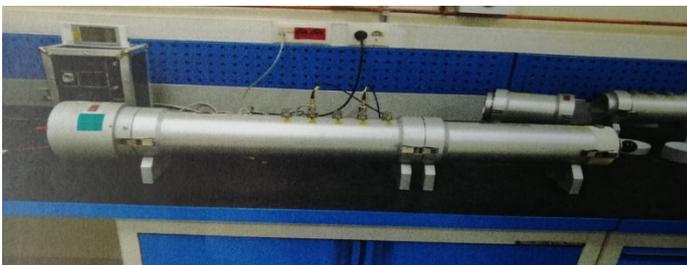
Kompozitin yoğunluğu arşimed yöntemi ile belirlenip, içerisindeki boşluk miktarı formül 2 yardımı ile hesaplanmıştır (Little, 2011).

$$V_v = 100 - \rho_c \left( \frac{\%m_m}{\rho_m} + \frac{\%m_f}{\rho_f} \right) \quad (2)$$

Burada  $V_v$  boş hacim fraksiyonu, ( $\% m_m$ ) matris kütle fraksiyonu ( $\% m_f$ ) lifin kütle fraksiyonu,  $\rho_c$ ,  $\rho_m$ ,  $\rho_f$  sırasıyla kompozitin, matrisin ve liflerin yoğunluklarıdır

## 2.4 Metod

Isırgan lifi/polyester kompozitlerin ses absorpsiyon (normal incidence absorption coefficient, ( $\alpha$ ) özellikleri çift mikrofona empedans tüpü (şekil 3), (Brüel&Kjaer PULSE™) yöntemiyle belirlenmiştir. Ölçümler ASTM E1050 ve ISO 10534-2:2002 (ASTM, 1998) Standartlarına uygun biçimde 0 Hz'den 6400 Hz' kadar küçük ve büyük (29 ve 100 mm) numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ölçüm tüpüne uygun şekilde yerleştirilmesi amacıyla, 40 mm uzunluğunda ve 29 mm çapında bir çubuk kullanılmıştır. Malzemenin ses absorpsiyon özelliklerini belirlemek amacıyla, üç farklı numune üzerinde ölçüm yapıp ve verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3. Çift mikrofona empedans tüpü

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Fiziksel özellikler

##### 3.1.1. Lif yoğunluğu

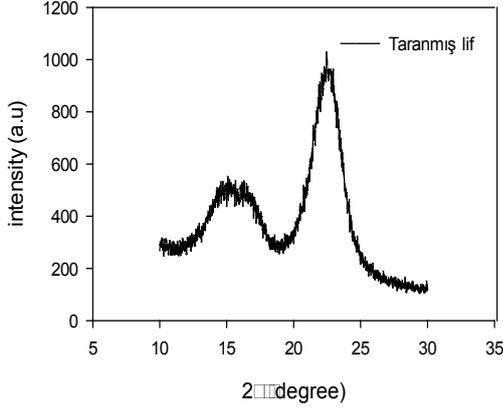
2100 rakımlardan elde edilen ham lif ve lifin yoğunlukları piknometre yöntemi ile belirlenmiş ve tablo 2’de verilmiştir. Tablodaki veriler irdelendiğinde, bitkilerin dip, orta ve tepe kısımlarından elde edilen liflerin yoğunluklarının farklı olduğu görülür. Bitkinin dip kısmından elde edilen liflerin yoğunlukları diğer kısımdan elde edilen liflerin yoğunluğundan daha düşüktür. Bitkinin dip kısmından elde edilen lifin yoğunluğuna göre, orta ve tepe liflerin yoğunluğundaki artış sırasıyla % 10 ve % 9, kalın liflerin aynı kısımlarındaki artış oranları da %17 ve %21 olmuştur.

Isırgan lifinin yoğunluğunu içeren, fiziksel özellikler ile ilgili çalışma yoktur. Bu nedenle ısırgandan elde edilen lifler diğer gövde lifleri ile karşılaştırılabilir. Yapılan çalışmalarda gövde liflerinin yoğunluklarının 1.30 ile 1.60 arasında değiştiği gösterilmiştir (Amiri,2017; Rohen, 2017; Chuanq, 2016). Buna göre elde edilen yoğunluk değerlerinin gövde liflerine göre daha düşük olduğu gösterilmiştir.

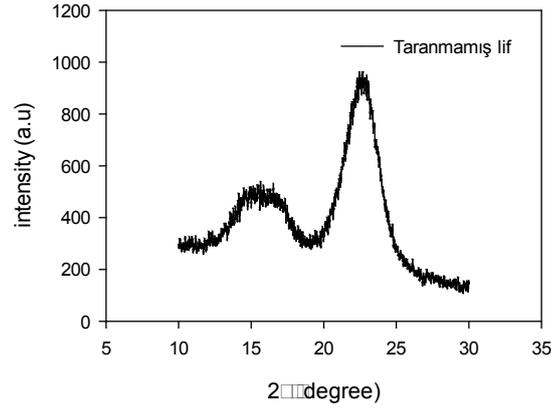
##### 3.1.2. Isırgan Liferinin X-Işını Kırınım Analizi

Isırgan bitkisinin orta kısmından elde edilen taranmış ve taranmamış lif içerisindeki selülozun tipik kristal kafesine ait X-ışını kırınım desenleri şekil 4 ve 5’de verilmiştir. Selüloz elyafa ait ana desenlerin iki teta değerleri sırasıyla 16.3 ve 22.4 dir ve bu desenler (101) ve (002) düzlemlerine karşılık gelir. Isırgan elyafının kristalin indeksi (CrI), Segal ampirik yöntemi (Mehdikhani ve ark.,2019) yardımıyla belirlenmiştir.

Bu yöntem kullanılarak 2100 rakımdan ve bitkinin orta kısmından elde edilen lifin kristalin indeksi 75.21 % olarak ölçülmüştür. Yine aynı rakımdan elde edilen taranmamış orta kısımdan elde edilen liflerin 71.33 % kristalin oranına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Taranmış lifin XRD grafiği



Şekil 5. Taranmamış ham lifin XRD görüntüsü

Farklı rakımlardan elde edilen bitkinin kısımlarına ait kristalinite oranları tablo 2’de verilmiştir. Tabloda bitkinin farklı kısımlarına ait yoğunluk ortalaması ile aynı tablodaki kristalinite oranları irdelendiğinde malzemenin yoğunluğu ile kristalinite arasındaki doğrusal ilişkinin varlığı kolaylıkla görülebilir.

Bitkinin dip kısmından elde edilen liflerin en düşük kristalin oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Dip kısma göre, kristalin oranları karşılaştırıldığında orta ve tepe kısmın oranları sırasıyla %2 ve %4 artmıştır. Taranmamış liflerin aynı kısımları karşılaştırıldığında artış oranları orta kısımda %3 iken tepe liflerde % 5 olmuştur.

Kristalinite indeksini belirlemede kullanılan bu yöntem, sisal, gibi selüloz elyaf çeşitlerinin kristalinite indeksini ölçmek için kullanılmıştır. (Rongve ark., 2001).

### 3.1.3. Lif Çapı

İnce lif çapları optik mikroskop, kalın lif çapları da kumpas yardımı ile belirlenerek ortalamalar tablo 2’de verilmiştir.

Tabloya göre, lif kalınlıkları incelendiğinde bitkinin farklı kısımlarından (dip, orta, tepe) elde edilen taranmamış ve taranmış liflerin birbirinden farklı olduğu görülebilir. Tepe ve orta lif çapları dip liflere göre her iki lif grubunda da belirgin düşüş göstermiştir. Ortalama lif kalınlıklarına göre taranmış liflerin dip kısmın çapına göre, orta ve tepe kısmında düşüş sırasıyla % 16, % 38 kalın liflerde dip kısmın çapına göre düşüş % 37 ve % 52 olmuştur. Koizumi ve arkadaşları (Koizumi ve ark., 2002) bamboo liflerinin ses absorpsiyonunu inceledikleri çalışmada, 90-125, 125-210, 210-425 µm çaplarındaki liflerin sırasıyla 0.99, 0.95 ve 0.85 ses absorbe ettiğini gösterdi. Bu çalışmada, liflerin çapının artması ile ses absorpsiyonu değerlerinde düşüş gerçekleştiği gösterilmiştir.



**Table 2.** Isırgan lifi, çap, kristalin oranı ve yoğunluk ortalama değerleri

Lif	ap , ( $\mu\text{m}$ )	Kristalin oranı (%)	Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
2100 Dip	58.23	73.89	1.022
2100 Orta	49.08	75.21	1.128
2100 Tepe	36.24	76.58	1.112
2100 Dip Ham	1.5x2.3	69.45	0.914
2100 Orta Ham	1.2x1.8	71.33	1.069
2100 Tepe Ham	1.1x1.5	73.14	1.107

### 3.5. Kompozitin Boş Hacim Fraksiyonu

Bitkinin dip ve orta kısmından üretilen kompozite ait boş hacim fraksiyonları tablo 3’de verilmiştir. Tablodaki veriler irdelendiğinde, yüksek rakımlı bitkinin orta kısmından elde edilen lişflerle oluşturulan kompozitlerin en yüksek boş hacime sahip olduğu görülmüştür. İkinci sırayı yine aynı rakımlı bitkinin dip kısmından elde edilen lif ile takviye edilmiş kompozitler almıştır. Taranmamış orta lif ile %7.5 takviyeli kompozitin boş hacim fraksiyonuna göre, aynı oranda taranmış, dip ve orta lif ile takviye edilmiş kompozitlerin boş hacim fraksiyonları sırası ile %22 ve 128 olmuştur.

Kompozit parçaların üretiminde, malzeme içerisinde bulunan boş hacimi etkileyen ana faktörler, matris ve liflerin dağılımı, iklimlendirme, yerleştirme işlemi (katlar arasındaki sıkışma seviyesinin kontrol edilmesi) ve krleme koşullarıdır (Mehdikhani ve ark.,2019). Kim ve arkadaşları (Kim ve ark.,2018) yaptıkları çalışmada betona köpük ajanları, selüloz elyafı ve zeolit ekleyip akustik özellikleri geliştirdiler. Kompozite ilave edilen katkılar sırasıyla % 4.06, 4.82 ve 18.42 boş hacime neden olmuştur. Kompozit, buna bağlı olarak sırasıyla 1000Hz’de 0.58, 1300Hz’de 0.65 ve 980Hz’de 0.83 ses absorbe etmiştir. Bizim alışmamızda da, boşluk hacim fraksiyonu artışının, ses absorpsiyonu artışına katkı sağladığı teyit etmiştir.

**Tablo 3.** Yüksek ve düşük rakımlı liflerin dip, orta ve tepe kısımlarından üretilen kompozitlerin boş hacim fraksiyonları

Malzeme	$C_p$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$F_p$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$V_v$ (%)
2100 D 2.5	0.994	1.022	12.37
2100 D 5	0.982		13.45
2100 D 7.5	0.933		16.13
2100 D 10	1.007		10.58
2100 O 2.5	0.100	1.128	14.03
2100 O 5	0.970		19.89
2100 O 7.5	0.786		30.18
2100 O 10	0.892		21.99
2100 T 2.5	1.048	1.112	12.28
2100 T 5	1.054		13.10
2100 T 7.5	1.082		14.96
2100 T 10	1.060		11.31
2100 HD 2.5	1.131	1.010	11.95
2100 HD 5	1.147		11.66
2100 HD 7.5	1.126		12.32
2100 HD 10	1.058		10.85
2100 HO 2.5	1.049	1.069	12.57
2100 HO 5	1.081		12.75
2100 HO 7.5	1.009		13.24
2100 HO 10	0.945		11.69
2100 HT 2.5	1.082	1.107	12.35
2100 HT 5	1.193		12.46
2100 HT 7.5	1.037		13.59
2100 HT 10	1.025		11.90

### 3.6. İsrırgan Lifi Kompozitlerin Ses Absorbsiyon Davranışı

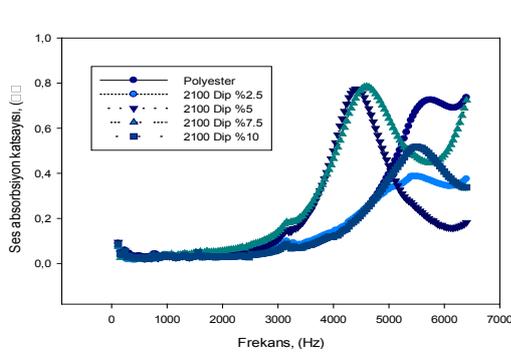
#### 3.6.1. Taranmış Liflerin Ses Absorbsiyon Davranışı

Bitkinin dip kısmından elde edilen lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği şekil 6'da verilmiştir. Verilere göre en yüksek absorpsiyon değeri %5 ve % 7.5 takviye oranına sahip kompozitlerde sırasıyla 4343 Hz'de 0.77 ve 4615 Hz'de 0.78 olarak kaydedildi. %2.5 ve %10 takviyeli kompozitler, her ikisinde 5516 Hz'de sırasıyla 0.38 ve 0.50 ses absorbe etmiştir.

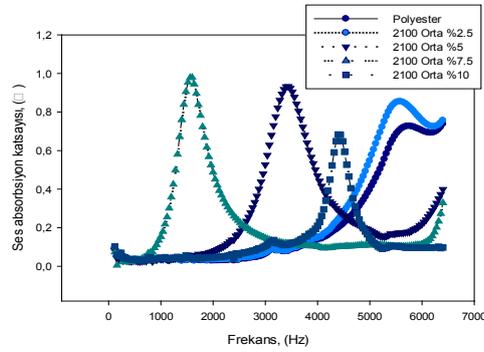
Bitkinin orta lifleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği şekil 7'de verilmiştir. Grafiğe göre maksimum absorpsiyon değeri %7.5 takviyeli kompozitlerden elde edilmiştir. %5 ve %7.5 lif takviyeli kompozitlerde ses absorpsiyonu sırasıyla 3446 Hz'de 0.94 ve 1574Hz'de 0.98 olmuştur. %2.5 lif takviyeli kompozitler 5550Hz'de 0.85 ses absorbe ederken, % 10 lif takviyeli kompozitler 4414Hz'de 0.71 ses absorbe etmiştir.

Bitkinin orta kısmı ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyonu davranışının oldukça manidar olduğu değerlendirilmiştir. Grafiklerde, matrisin lifi yeterince ıslatmamasından kaynaklı,

üretim esnasında uygulanan baskıya bağlı olarak, gözenekliliğin azaldığı % 10 lif takviyeli kompozitlerin en düşük ses absorpsiyon değeri ortaya koyduğu ifade edilebilir. %2.5 lif takviyeli kompozitlerde düşük lif miktarına bağlı, düşük gözeneklilikten dolayı maksimum ses absorpsiyonu daha yüksek frekansta gerçekleşmiştir. Lif miktarının artışı ile gözenekliliğin artmasından dolayı, ses absorpsiyon frekans değerinin azaldığı ve absorpsiyon miktarının arttığı belirlenmiştir.



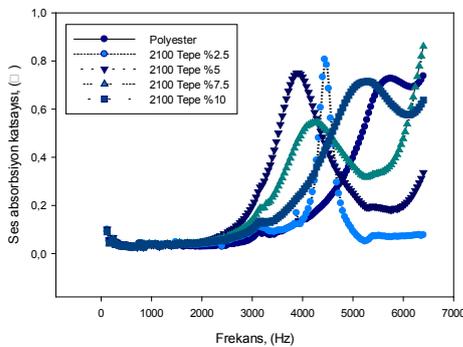
**Şekil 6.** Dip lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği



**Şekil 7.** Orta lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği

Tepe lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği şekil 8'de verilmiştir. Absorpsiyon değerleri orta lif ile takviye edilmiş kompozitlere göre daha düşüktür. Bu liflerde en yüksek absorpsiyon %2.5 takviyeli liflerde 4414 Hz'de 0.80 iken %5 takviyeli kompozitlerde 3946 Hz'de 0.73 olmuştur. Düşük değerler sırasıyla %10 ve % 7.5 takviyeli kompozitlerde 0.70 ve 0.52 olarak gerçekleşmiştir.

Tepe lifleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon değerleri orta lif takviyeli kompozitlere göre daha yüksek frekanslara kaymıştır. Bunun nedeni liflerin çaplarının düşük olmasından dolayı birim alanda daha fazla ince lifin bulunmasıdır. Bu sonuç, %7.5 takviyeli kompozitlerde bile, (%10 takviyeli kompozitlerde yaşanan olgu) matrisin lifleri ıslatamaması neticesinde, baskı uygulanması sonucu en düşük absorpsiyon değerine neden olmuştur.

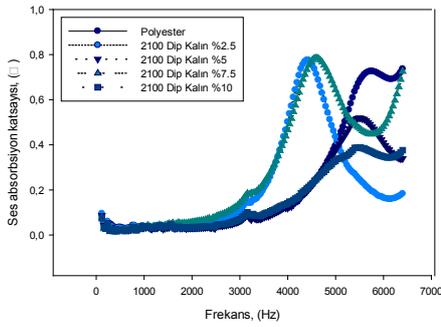


**Şekil 8.** Tepe lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği

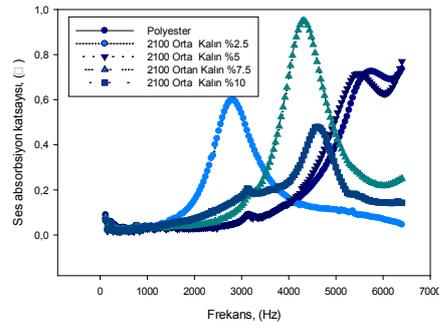
### 3.6.2. Taranmamış Liflerin Ses Absorbsiyon Davranışı

Bitkinin dip kısmından elde edilen lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği şekil 9'da verilmiştir. Verilere göre en yüksek absorpsiyon değeri %5 ve % 7.5 takviye oranına sahip kompozitlerde sırasıyla 4343 Hz'de 0.77 ve 4615 Hz'de 0.78 olarak kaydedilmiştir. %2.5 ve %10 takviyeli kompozitler her ikisinde 5516 Hz'de sırasıyla 0.38 ve 0.50 ses absorbe etmiştir.

Bitkinin orta lifleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği şekil 10'da verilmiştir. Grafiğe göre maksimum absorpsiyon değeri %7.5 takviyeli kompozitlerden elde edilmiştir. %5 ve %7,5 lif takviyeli kompozitlerde ses absorpsiyonu 3446 Hz'de 0.94 ve 1574Hz'de 0.98 olmuştur. %2.5 lif takviyeli kompozitler 5550Hz'de 0.85 ses absorbe ederken, % 10 lif takviyeli kompozitler 4414Hz'de 0.71 ses absorbe etmiştir.



**Şekil 9.** Dip lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği



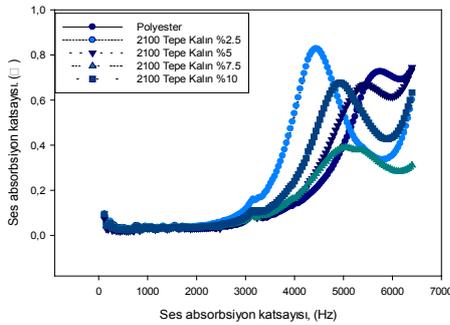
**Şekil 10.** Orta lifleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği

Tepe lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği şekil 11'de verilmiştir. Ses absorpsiyon katsayıları orta lif takviyeli kompozitlere göre daha düşüktür. Bu liflerde en yüksek absorpsiyon %2.5 takviyeli liflerde 4357 Hz'de 0.84 iken %5 takviyeli kompozitlerde 5460 Hz'de 0.67 olmuştur. %7.5 lif takviyeli kompozitlerde absorpsiyon değeri 4959 Hz'de 0.39 iken %10 takviyeli kompozitlerde 4925 Hz'de 0.68 elde edilmiştir.

Keten epoksi kompozitlerin ses absorpsiyonunu ortaya koymak için yapılan çalışmada % 55 lif takviyeli malzemenin 3150Hz'de maksimum yaklaşık 0.30 ses absorbe ettiği belirlendi (Lee ve ark., 2017). Bu değer bizim çalışmamızda ortaya konulan değerden (taranmış %7.5 takviyeli orta lif kompozitlerde 1574 Hz'de 0.98) % 226 daha düşüktür. Doğal lifler ile takviye edilmiş epoksi kompozitlerin ses absorpsiyonu özelliklerinin ortaya konulduğu çalışmada (Yang, 2012) jüt ile takviye edilen kompozitlerin en yüksek absorpsiyon değerine ulaştığı (4960Hz'de 0.42)

bildirilmiştir. Yang'ın elde ettiği bulgular, bu çalışmada ortaya konulan en yüksek değerden % 133 daha düşüktür.

Taranmış liflerle takviyeli kompozitlerde olduğu gibi tepe lif ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon davranışları benzerlik göstermiş ve değerler daha yüksek frekanslara kaymıştır. Bu sonuç lif çaplarının etkisini doğrulamaktadır.

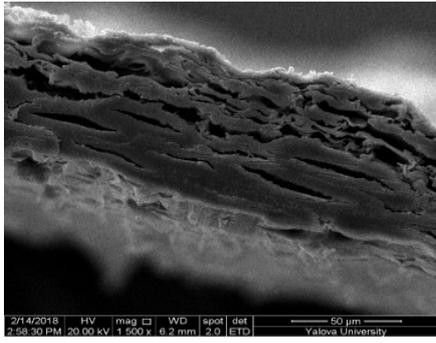


Şekil 11. Tepe lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin ses absorpsiyon grafiği

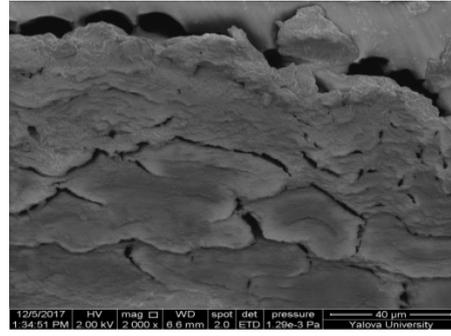
### 3.7. Morfoloji

Isırgan bitkisinden elde edilen liflerin enine kesit görüntüleri Şekil 12 ve 13'de verilmiştir. Şekil 12'de taranmamış ham lifin dip kısmın kesiti 13'de ise taranmamış ham lifin orta kısmın lifin kesit resimleri görülmektedir. Ham ısırgan lifinin enine kesiti incelendiğinde dip liflerin daha fazla kabuk (epidermis) kısma sahip olduğu ve bu kısımlarda lif kesitine göre daha az boşluklu olduğu görülmektedir. Orta kısımlarda ise epidermis tabakanın kısmen daha ince olduğu görülmektedir. Taranmış tek life ait kesit resmi taramalı elektron mikroskobu görüntüsü şekil 14'de verilmiştir. (Lanzilao, 2015). Taranmış liflerde epidermis tabakanın olmamasından dolayı liflerin daha fazla boşluk içerdiği söylenebilir. Bu boşluğun miktarı lif çapı ile doğru orantılıdır. Ancak, orta kısım taranmış lifler, çapı daha düşük olan fazla miktarda mikro boşluk içerdiği için, küçük gözenekli malzemelerin ortaya koyduğu düşük frekansta ses emme özellikleri ile ön plana çıkmıştır.

Ayrıca lif içerisindeki havanın matrisin ekzotermik reaksiyonu esnasında genişlerken, lif içerisinde matris içerisine doğru hareket ederek gözenek oluşturduğu düşünülmektedir. Bu olgu sonucunda oluşan birbirine bağlı bu küçük gözeneklerin ses absorpsiyonunu daha düşük değerlere kaydıracağı düşünülmektedir.



**Şekil 12.** Ham dip lifin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.



**Şekil 13.** Ham orta lifin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.



**Şekil 14.** Taranmış lifin kesit taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

1. 2100 rakımdan elde edilen bitkinin dip ve orta kısmından elde edilen liflerin fiziksel özellikler itibarı ile tekstil sektöründe kullanılmaya çok elverişli olmadığı ifade edilebilir.
2. Kısa lifler ile yapılan ve üretim için serbest döküm yöntemi kullanılan bu çalışmada, ses absorpsiyonu için matrisin lifi tam olarak ıslatabildiği maksimum oran, lif kalınlığına da bağlı olarak % 7.5 olarak belirlenmiştir.
3. Bu çalışmada kullanılan tepe liflerinin, farklı uygulamalarda kullanım alanı bulabileceği düşünülmekle birlikte, dip ve orta kısımdaki liflerin çok iyi bir yalıtım malzemesi olabileceği öngörülmektedir.
4. Bitkinin orta kısmından elde edilen liflerin kompozitin ideal ses absorpsiyonunu sağlayan optimum gözenekliliği sağladığı ortaya çıkmıştır.
5. Taranmamış liflerin orta kısmından üretilen kompozitler, daha yüksek frekanslarda, çevreçi bir ürün olarak, ses absorpsiyon uygulamalarında kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Referances

- Amiri, A., Triplett, Z., Moreira, A., Brezinka, N., Alcock, M., Ulven, C.A., (2017). Standard density measurement method development for flax fiber, *Industrial Crops and Products*, 96, 196-202  
Applications, *Building and Environment* 94, 840e852
- ASTM. (1998) Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System.
- Berardi, U., Iannace, G., (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption, *Building and Environment*, 94(2), 840-852
- Ersoy, S., Küçük, H., (2009). Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties, *Applied Acoustics* 70, 215–220
- Hassan, T., Jamshaid, H., Mishra, R., Khan, M.Q., Petru, M., Novak, J., Choteborsky. R.,  
Hromasova, M., (2020). Acoustic, Mechanical and Thermal Properties of Green Composites Reinforced with Natural Fibers Waste, *Polymers*, 12(3), 654. doi: [10.3390/polym12030654](https://doi.org/10.3390/polym12030654)
- Kim, H., Hong, J., Pyo, S., Acoustic characteristics of sound absorbable high performance concrete, *Applied Acoustics* Volume 138, September 2018, Pages 171-178
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi A., The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers, Paper from: *High Performance Structures and Composites* , Brebbia C.A., Wilde W.P., (Editors). 2002 WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, SO40 7AA, UK ISBN 1-85312-904-6
- Lanzilao, G., (2015). Properties and Applications of Himalayan Nettle Fibre, (Doctoral dissertation). The University of Leeds, School of Design – Centre for Technical Textiles Retrieved from <http://www.theses.whiterose.ac.uk/11104/1>
- Lee, H.P., Pun Ng, M.B., Rammohan, A.V., Tran, L.Q.N., (2017). An Investigation of the Sound Absorption Properties of Flax/Epoxy Composites Compared with Glass/Epoxy Composites, *Journal Of Natural Fibers*, 14(1), 71–77, <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2016.1146643>
- Lima, Z.Y., Putraa, A., Nora, M.J.M., Yaakobb, M.Y., (2018). Sound absorption performance of natural kenaf fibres, *Applied Acoustics* 130 107–114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.012>
- Little, J.E., Yuan, X.W., Jones, M.I., (2011). Voids Characterisation In Carbon Fibre/Epoxy Composite Laminates, 18th International Conference On Composite Materials, August 21-26, Icc Jeju Korea
- Mehdikhani, M., Gorbatiikh, L., Verpoest, I., Lomov, S.V., (2019). Voids in fiber-reinforced polymer composites: A review on their formation, characteristics, and effects on mechanical performance, *Journal of Composite Materials*, 53(12), 1579–1669
- Qui, H., Enhui, Y., (2018). Effect Of Thickness, Density And Cavity Depth On The Sound Absorption Properties Of Wool Boards, *Autex Research Journal*, 18, 2, 203-208.
- Rohen, L.A., Neves, A.C.C., Mantovani, D.P., Mauricio, F.V.C., Vieira, J.S., Pontes, L.A., Margem, F.M., Monteiro, S., (2017) Hemp Fiber Density Using the Pycnometry Technique, Springer International Publishing, Published in: *Characterization of Minerals, Metals, and Materials*,
- Rong, M.Z., Zhang, M.Q., Lui, Y., Yang, G., Zeng, H.M., (2001). The effect of fibre treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal reinforced epoxy composites, *Composites Science and Technology*, 61, 1437–1447
- Segal, L., Creely, J.J., Martin, A.E., Conrad C.M., (1959). An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer, *Textile Research Journal*, 29, (10), 786-794
- URL-1: <http://www.Poliya.com>, (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2021).
- Washington, L.E. Magalhaes, Darci A. Gatto, (2014). Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles, *Construction and Building Materials* 61, 60–68

- Xu, C., Gu, Y., Yang, Z., Min Li, M., Yanxia Li Y. Zhang Z., (2016). Mechanical properties of surface-treated ramie fiber fabric/epoxy resin composite fabricated by vacuum-assisted resin infusion molding with hot compaction, *Journal of Composite Materials*, 50(9) 1189–1198
- Yahya, M.N., Sambu, M., Latif, H.A., Junaid, T.M., (2017). A study of Acoustics Performance on Natural Fibre Composite, IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering* 226, 012013 doi:10.1088/1757-899X/226/1/012013
- Yang, W., and Y. Li. 2012. Sound absorption performance of natural fibers and their composites. *Science China Technological Sciences* 55(8):2278–2283. doi:10.1007/s11431-012-4943-1.
- Zhang, J., Shen, Y., Jiang, B., Li, Y., (2018). Sound Absorption Characterization of Natural Materials and Sandwich Structure Composites, *Aerospace* , 5, 75; doi:10.3390/aerospace5030075



## Microbial Characterization of *Streptomyces* Isolates from Oil Contaminated Soil

Elif ÇİL<sup>\*1</sup>, Kamil IŞIK<sup>2</sup>

### Abstract

In this study, nineteen different *Streptomyces* strains were isolated from oil-contaminated surface soil at Ataş Oil Terminal in Turkey. Biodegradation and Restriction Fragment Length Polymorphism tests (RFLP) were used for selecting isolates. The isolates belonging to the genus *Streptomyces* were confirmed by 16S rDNA analysis. 1592r, 1492r, 800r, 518f, and 27f primers were chosen for the 16S rDNA gene amplifying and sequencing. Then 93-unit characters were used to determine phenotypic, physiological, and biochemical properties. All strains can degrade Tween 80, casein, gelatin, hypoxanthine, RNA, L-Tyrosine, elastin. Nevertheless, EL039, EL045, and EL060 soil isolates have better degradation potentials because of gave positive results to eleven degradation tests. According to the obtained results, EL037, EL039, EL060 could be a member of *S. albogriseolus*, *S. rochei*, *S. mutabilis*, respectively, and the phylogenetic tree and characterization tests indicated that especially, EL038, EL045, EL057 could be new members of *Streptomyces* genus. We perceive that the *Streptomyces* isolates would benefit biotechnological studies thanks to the degradation enzyme potentials.

**Keywords:** *EcoRI*, *PstI*, *HindP1I*, Biodegradation.

## Petrolle Kirlenmiş Topraktan Elde Edilen *Streptomyces* İzolatlarının Mikrobiyal Karakterizasyonu

### Öz

Bu çalışmada, Türkiye'de Ataş Petrol Terminali'nde yağla kirlenmiş yüzey toprağından on dokuz farklı *Streptomyces* suşu izole edilmiştir. İzolatların seçiminde Biyobozunma ve Restriksiyon Parça Uzunluk Polimorfizmi (RFLP) testleri kullanılmıştır. *Streptomyces* cinsine ait izolatlar, 16S rDNA analizi ile doğrulanmıştır. 16S rDNA geni amplifikasyonu ve dizilemesi için 1592r, 1492r, 800r, 518f ve 27f primerleri seçilmiştir. Ardından fenotipik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri belirlemek için 93 birimlik karakterler kullanılmıştır. Tüm suşlar Tween 80, kazein, jelatin, hipoksantin, RNA, L-tirozin, elastin'i parçalayabilmiştir. Bununla birlikte, EL039, EL045 ve EL060 toprak izolatlarının, on bir bozunma testine de pozitif sonuç verdiği için daha iyi bozunma potansiyellerine sahip olduğu düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre EL037, EL039, EL060 sırasıyla *S. albogriseolus*, *S. rochei*, *S. mutabilis*'in bir üyesi olabilir ve filogenetik ağaç ve karakterizasyon testleri özellikle EL038, EL045, EL057'nin yeni üye olabileceğini göstermiştir. *Streptomyces* cinsine aittir. *Streptomyces* izolatlarının degradasyon enzim potansiyelleri sayesinde biyoteknolojik çalışmalara fayda sağlayacağı kanaatindeyiz.

**Anahtar Kelimeler:** *EcoRI*, *PstI*, *HindP1I*, Biyobozunma.

<sup>1</sup>Ordu University, Department of Math and Science Education, Education Faculty, Ordu, Turkey, elifcil@odu.edu.tr

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs University, Department of Biology, Art and Sciences Faculty, Samsun, Turkey, kamilis@omu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1420-8729>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-1764-8113>

## 1. Introduction

Genus *Streptomyces* Waksman and Henrici 1943 (Approved Lists 1980) is the primary producer for bioactive metabolites and biocontrol agents against a range of pathogens (Arakawa, 2018; Ayed et al., 2018; Benhadj et al., 2020). Green chemistry products are called biopesticides, and agriculturally and medically essential antibiotics are momentous products (Nimaichand et al., 2016; Viana Marques et al., 2018). Also, members of *Streptomyces* are good candidates for bioleaching or bioremediation because of their degradative enzymes (Ferradji et al., 2014; Baoune et al., 2018; Baoune et al., 2019). Therefore, *Streptomyces*, known as the most widespread genus of actinomycetes in the golden age of antibiotics, remains in popularity (Panter et al., 2021).

*Streptomyces* genus is the predominant genus and thrives naturally in the rhizosphere soil. It is also saprophytic and substantial for recycling soil nutrients. It enhances soil fertility in nature with the help of in decomposition of soil organic matter constituting mainly cellulose, chitin, starch, xylene, or even crude oil (Hariprasad 2016; Robl et al., 2019; Chen et al., 2020; Nascimento et al., 2020). Studies on petroleum-degradation potentials of *Streptomyces* species and their metabolites are increasing day by day (Baoune et al., 2018; Baoune et al., 2019; Chen et al., 2020; Elnahas et al., 2021). It contains 691 species taxa with the correct name and validly published now (URL-1). Considering that the discovery of new *Streptomyces* species continues unabated, it is not surprising that scientists focus their studies on this genus. On the other hand, it is a significant challenge to characterize the isolates correctly. Because the genus has a heterotypic structure and 16S rDNA sequencing or physiological characterization alone is insufficient for species identification (Komaki 2021; Komaki & Tamura 2021; Saygin 2021).

We focused our attention on oil-contaminated soils and planned to isolate and characterize *Streptomyces* strains with high degradability from oil-contaminated soil.

## 2. Materials and Methods

A surface soil sample obtained from Ataş Oil Terminal, Mersin, Turkey, was put in a sterile plastic bag and labeled and stored at 4° C until microorganism isolation. A 20-25 g soil sample was added to a beaker. After enough ddH<sub>2</sub>O was added, it was held for 24h; pH was determined with a pH meter three times. We did not use selective isolation procedures in this study. The air-dried soil sample was suspended in ¼ strength Ringer's solution (Oxoid). Then it was heated at 60 °C for 20 min before preparing 10<sup>-2</sup> and 10<sup>-3</sup> dilutions in Ringer's solution. We know that when the soil was air-dried, other bacterial numbers decreased, and *Streptomyces* colonies increased (Seong et al., 2001). 100 µL of each soil dilutions were spread over starch-casein agar plates, which were

supplemented with nalidixic acid ( $10 \mu\text{g mL}^{-1}$ ), nystatin ( $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ ), and rifampicin ( $5 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) (Küster & Williams, 1964). All the agar plates were incubated at  $28^\circ\text{C}$  for 30 days. Single colonies were successively transferred onto glucose yeast extract (GYE) agar and incubated until pure isolates were obtained. Spore mass and mycelium fragments of the pure strains were stored at  $-20^\circ\text{C}$  as glycerol (20%, v/v) suspension.

## 2.1. Phenotypic Characteristics of Strains

Production of spore mass and its color, substrate mycelium color, and diffusible pigment production were detected on the 21-day old cultures on oatmeal agar (ISP Medium 3), inorganic salts-starch agar (ISP Medium 4), malt extract agar, and nutrient agar. ISCC-NBS Color Charts was used to record pigment colors (Kelly 1964). Their ability to degradation of hypoxanthine (0.4% w/v), starch (0.1 % w/v), xanthine (0.4% w/v), pectin (0.4% w/v), L-Tyrosine (0.4% w/v), gelatin (0.4% w/v), casein (1% w/v), elastin (0.3 % w/v), guanine (0.5% w/v), RNA (0.3% w/v), tween 80 (1% v/v) as described by Williams et al. (Williams et al, 1983). Their capacity to metabolize Tween 80 degradation test was examined Sierra medium containing tween 80 (Sierra 1957). Hydrolysis of Aesculin (0.1% w/v), allantoin (0.33% w/v), arbutin (0.5% w/v), urea (2% w/v), nitrate reduction (0.1% w/v), lysozyme resistance (0.1% w/v) as described by Gordon et al. (Gordon 1974). Test strains were planted in 22 different sole carbon sources to determine their growth and energy requirements. The basal medium used by Boiron et al. was modified by the addition of NaCl ( $0.5 \text{ g L}^{-1}$ ) and  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ( $0.01 \text{ g L}^{-1}$ ) and used as the main medium. D(-) Arabinose, L(+) Arabinose, D(+) Xylose, D(+) Galactose, Meso- inositol, Sodium citrate, D(-) Fructose, L(-) Sorbose,  $\alpha$ -L (+) Rhamnose,  $\alpha$ - D (+) Melibiose, D-Mannitol, L (+) Tartaric Acid, D (+) Sucrose, D (+) Trehalose, D (+) Cellobiose, D(+) Raffinose, D(+) Sorbitol, Arbutin, Dextran, Inulin, Starch, Sodium acetate tests were done (Boiron 1993). We used a 1% w/v ratio in all utilizing carbon sources tests. Only basal medium was used as a negative control and basal media with added glucose (1.0%; w / v) as a positive control. The test strains inoculated by a 12-needle multipoint inoculator were read at  $30^\circ\text{C}$  after 21 days of incubation. Test plates were evaluated by comparison with both positive and negative control plates. The test strains were tested to utilize nine different amino acids as nitrogen sources for growth and energy requirements as described by Williams et al. (Williams et al., 1983). L- Alanine (L-Ala), L-Arginine (L-Arg), L-Hydroxyproline (L-Hyp), L-Histidine (L-His), L-Iso-leucine (L-Ile), L-Methionine (L-Met), L-Proline (L-Pro), L-Serine (L-Ser), L-Valine (L-Val) tests were done. We used a 0.1% w/v ratio in all utilizing nitrogen sources tests. The basal medium was used as a negative control, and the basal medium was added to 1.0% (w/v) L-Asparagine as a positive control. Test inoculation was performed with 12-needle multipoint inoculators, and the plates were read after 21

days at 30°C. All microorganisms were grown over pH (4, 9, and 10) at various temperatures (10, 28, 37, and 45 °C). Antibiotic resistance (Ampicillin 10 µg/ml, Ampicillin 100 µg/ml, Neomycin 10 µg/ml, Neomycin 100 µg/ml, Penicillin 50 µg/ml, Penicillin 100 µg/ml, Polymyxin 50 µg/ml, Streptomycin 10 µg/ml, Streptomycin 100 µg/ml) tests were recorded. Thirteen chemical growth inhibitor tests were performed at 28°C on modified Bennet's Agar medium (Jones, 1949). Copper II sulphate (0.001 w/v), Ferrous sulphate (0.01 w/v), Ferrous sulphate (0.02 w/v), Sodium citrate (0.01 w/v), Sodium citrate (0.02 w/v), Thallium acetate (0.001 w/v), LiCl (0.02 w/v), Potassium tellurite (0.01 w/v), Potassium nitrate (0.005 w/v), Zinc sulphate (0.005 w/v), Zinc chloride (0.005 w/v), NaCl (7 w/v), NaCl (14 w/v).

## 2.2. DNA Extraction, 16S rDNA PCR Amplification, and Sequence Analysis

Before DNA extraction, biomass was grown in shake flasks containing modified tryptone-yeast glucose extract (TYG) broth; these cultures were incubated for 6 to 8 days at 28°C. Chromosomal DNA was isolated by the "guanidine thiocyanate DNA isolation method" (Pitcher et al., 1989).

The 16S rRNA genes (rDNA) were amplified by using universal primers **27f** and **1525r**. The positions and nucleotide sequence of PCR primers used in the study are given in Table 1.

**Table 1.** List of PCR primers, positions, and nucleotide sequences used in this study.

PCR primer name	Positions From 5' to 3'	Nucleotide sequence of the PCR primer From 5' to 3'	Reference
27f	8 to 27	AGAGTTTGATCMTGGCTC AG	(Lane, 1991)
1592r	1544 to 1525	AAGGAGGTGWTCARCC	

PCR mixture contained chromosomal DNA (50-100 ng), 20 pmol forward and reverse primers (Invitrogen, USA), 25 mM dNTPs (Promega), Taq polymerase, and its buffer (Sigma-Aldrich, USA). The DNA thermal cycler (PCR Express, ThermoHybaid, Middlesex, UK) was programmed for 16S rDNA gene sequence amplification as in Table 2.

**Table 2.** 16S rDNA gene sequence amplification condition

	Temperature (°C)	Time (min)	Cycles
Initial denaturation	94	5	1
Denaturation	94	1	35
Annealing	55	2	

Elongation	72	3	
Final Elongation	72	8	1
Storage after reaction	4		

The amplicons were electrophoresed on 1% agarose gel (Serva, Germany) in 1×TBE buffer and were visualized with the Gene Genius Bioimaging system. They were purified (QIAquick purification kits, Qiagen, Hilden, Germany), and 16S rDNA gene sequencing was performed by ABI PRISM BigDye Terminator Cycle Sequencing kits (Macrogen, Netherland). We selected universal oligonucleotide primers listed in Table 3.

**Table 3.** List of sequence analysis primers, positions, and nucleotide sequences used in this study

Oligonucleotide primer name	Positions from 5' to 3'	Nucleotide sequence from 5' to 3'	Reference
518f	499 to 518	CCAGCAGCCGCGGTAATAC	(Muyzer et al., 1993)
800r	800 to 782	TACCAGGGTATCTAATCC	(Chun 1995)
1492r	1492 to 1474	TACGGYTACCTTGTTACGACT	(Gyobu & Miyadoh 2001)

The resulting 16S rDNA gene sequences (1477-1594 nucleotides) were used to search the GenBank database with the BLAST program and the current version of the EzBioCloud to determine relative phylogenetic positions. MEGA server 6 package provides multiple sequence alignment by CLUSTAL W 1.8 (Thompson et al., 1994; Tamura et al., 2013; Yoon et al., 2017). Phylogenetic analysis was conducted using MEGA 6. An evolutionary distance matrix was generated for the neighbor-joining described by Jukes and Cantor (Saitou & Nei, 1987; Jukes & Cantor, 1969). The resultant tree topology was evaluated by bootstrap analysis (Felsenstein 1985).

### 2.3. Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)

16S PCR amplification products of all test organisms were digested using restriction endonuclease enzymes *EcoRI* (Promega), *PstI* (Promega), *HindPII* (New England BioLabs). Purified PCR product (6 µL), ddH<sub>2</sub>O (11.5 µL), restriction enzyme buffer (1.25 µL), and restriction enzyme (1.25 µL) were transferred to Eppendorf tubes, and the reaction mixture was carefully pipetted to ensure thorough mixing. The reaction tubes were kept in a water bath set at 37 °C for at least 4 hours so that each reaction mixture was 20 µL. At the end of the period, it was kept at 65 °C for 20 minutes to inhibit restriction endonuclease enzymes. Products cut with *EcoRI*, *PstI* restriction endonuclease enzyme were run in 2% MetaPhor agarose gel for 1.5 hours at 100 volts. On the other hand, the products cut with *HindPII* restriction endonuclease enzyme were run in 3% MetaPhor agarose gel for 2.5 hours and visualized in the imaging system (GeneGenius, SyneGene; Bio-Imaging Systems, UK).

### 3. Findings and Discussion

Probably the most popular filamentous Gram-positive bacteria is *Streptomyces*. The popularity of this genus comes from the ability to produce varieties of natural products, including enzymes, antibiotics, etc. (Hashimoto et al., 2020). This study was conducted on Ataş Oil Terminal, Mersin, Turkey (36°81N–92°67E, 34°69N–74°78E). Soil pH was measured as 7.84, and approximately  $1.4 \times 10^6$  CFU was determined for each petri dish. All the strains were aerobic and Gram-stain-positive. At first, we isolated nineteen different *Streptomyces* colonies. We preferred biodegradation and RFLP tests for preliminary selecting isolates. We select three restriction endonuclease enzymes (*EcoRI*, *PstI*, and *HindP1I*) for digesting the 16S rDNA gene region. The fragment sizes of 16S rDNA gene region amplification products varied between 160 and 960 bp. In the RFLP assay *EcoRI*, *PstI* enzymes gave the same number and size of restriction fragments, but *HindP1I* gave better results than *EcoRI*, *PstI*. EL060 had three, and the others had four pieces. EL039, EL045, and EL057 had the same number and size of four restriction fragments, and EL037 and EL038 had different RFLP profiles. Gel detectable restriction fragment sizes (in base pairs) of the 16S rDNA gene region were given in Table 4. We selected six isolates that gave at least nine positive results for biodegradation tests and had partially different RFLP profiles.

**Table 4.** Gel detectable restriction approximate fragment sizes (in base pairs) of 16S rDNA gene region digested by *EcoRI*, *PstI*, and *HindP1I* restriction endonuclease enzymes.

Isolate	<i>EcoRI</i>	<i>PstI</i>	<i>HindP1I</i>
EL037	900-600	955-450	600-450-340-190
EL038	900-600	955-450	480-460-325-150
EL039	900-600	955-450	480-460-430-160
EL045	900-600	955-450	480-460-430-160
EL057	900-600	955-450	480-460-430-160
EL060	900-600	955-450	500-370-160

The test isolates an extensively branched substrate mycelium, which carries white or grey aerial hyphae and yellow to brown substrate mycelia on oatmeal agar media (Table 5). Sodium citrate, L(-) Sorbose, D-Mannitole, L (+) Tartaric Acid, D (+) Cellobiose, D(+) Sorbitol, Starch and Sodium acetate, L-Met, L-Pro, L-Val test results were negative for all isolates. All isolates in the study grew at pH 9, but none of the isolates grew at pH 4 or 10. All isolates showed antibiotic resistance to Ampicillin 10 µg/ml, Penicillin 50 µg/ml, and Penicillin 100 µg/ml and could tolerate to copper II sulphate (0.001 w/v), ferrous sulphate (0.01 w/v), ferrous sulphate (0.02 w/v), sodium citrate (0.01

w/v), LiCl (0.02 w/v), potassium nitrate (0.005 w/v) but any isolates could not grow at 7 nor 17% NaCl.

The phylogenetic analyses of the 16S rRNA gene sequences of the oil-contaminated soil strains revealed that the isolates were related to *Streptomyces*. The phylogenetic relationship can be inferred by analyzing 16S rRNA gene sequences of the isolates, and it is the closest type strains using the neighbor-joining method. The optimal tree with branch lengths was derived. The percentage of replicate trees was shown next to the branches. (Figure 1).

**EL037** (KY860703) had the same 16S rDNA gene sequence similarity (99.65%) and variation ratio with *S. albogriseolus* and *S. viridodiastaticus* type strains. According to partial 16S rRNA gene sequencing, *S. albogriseolus* and *S. viridodiastaticus* type strains were identical. EL037 could not use raffinose, whereas *S. albogriseolus* was good growth, but *S. viridodiastaticus* was very poor. Sucrose utilization test was another identical test. EL037 has not used sucrose for carbon sources like *S. albogriseolus*, but *S. viridodiastaticus* could use it well. Aerial hyphae of EL037 were very compact. The spore color of EL037 was different from highly related type strains. The isolate gave a negative result for xanthine degradation and aesculin hydrolysis tests. EL037 could degrade gelatine as *S. albogriseolus*, but *S. viridodiastaticus* could not. Except for L-Arg and L-ile, amino acid utilization tests were positive. EL037 could tolerate 45 °C but *S. albogriseolus* and *S. viridodiastaticus* could until 40°C. According to Komaki (2021), *S. viridodiastaticus* was considered as later heterotypic synonyms of *S. albogriseolus* (Komaki 2021). Our consensus is that EL037 could be a member of this clade.

**EL038** (KY860704) had the same 16S rDNA gene sequence similarity (98.13%) and variation ratio with *S. albidoflavus*, *S. luteus*, and *S. daghestanicus*. EL038 had light grey aerial mycelium on ISP 3 agar medium as with *S. albidoflavus* and different from other highly related type strains. No sporulation was observed on nutrient agar. EL038 gave two negative results for biodegradation tests (Pectin, starch). EL038 could not use rhamnose as *S. albidoflavus*, but *S. luteus* and *S. daghestanicus* did it. It also gave a negative result for aesculin hydrolysis tests. Except for L-Ser, the amino acid utilization test was negative. EL038 was mesophilic and proliferated at 28-37 °C. EL038 could not grow with sodium citrate (0.02 w/v), thallium acetate (0.001 w/v) and zinc sulphate (0.005 w/v) and only EL038 could not tolerate Potassium tellurite (0.01 w/v) among the isolates. EL038 could be a new member of this clade.

**EL039** (KY860705) had the same sequence similarity (98.41%) with *S. rochei* strain, *S. enissocaesilis*, and *S. plicatus* strains. As seen in Figure 1, *S. rochei* strain (AB184237) seems to be the nearest one on the phylogenetic tree. So we only added *S. rochei* test results in Table 5. The isolate EL039 showed cultural and 16S rDNA gene sequence similarity with *S. rochei* but exhibited differences in physiological and biochemical properties. EL039 has dark grey aerial mycelium and

grey substrate mycelium with brown diffusional pigments and well-grown oatmeal agar medium (ISP 3) as *S. rochei*. Sporulation could not form on nutrient agar. First of all, EL039 gave positive results to all degradation tests in this study. The casein test result was different from the nearest neighbor, *S. rochei*. Except for L-His and L-Arg, amino acid utilization tests were negative. EL039 could tolerate pH9 but not pH10. EL039 and *S. rochei* can handle 3–7%(w/v) NaCl but could not be over 7%. For example, the optimum temperature was 28°C for both highly related type strains, but EL039 could also tolerate 45°C.

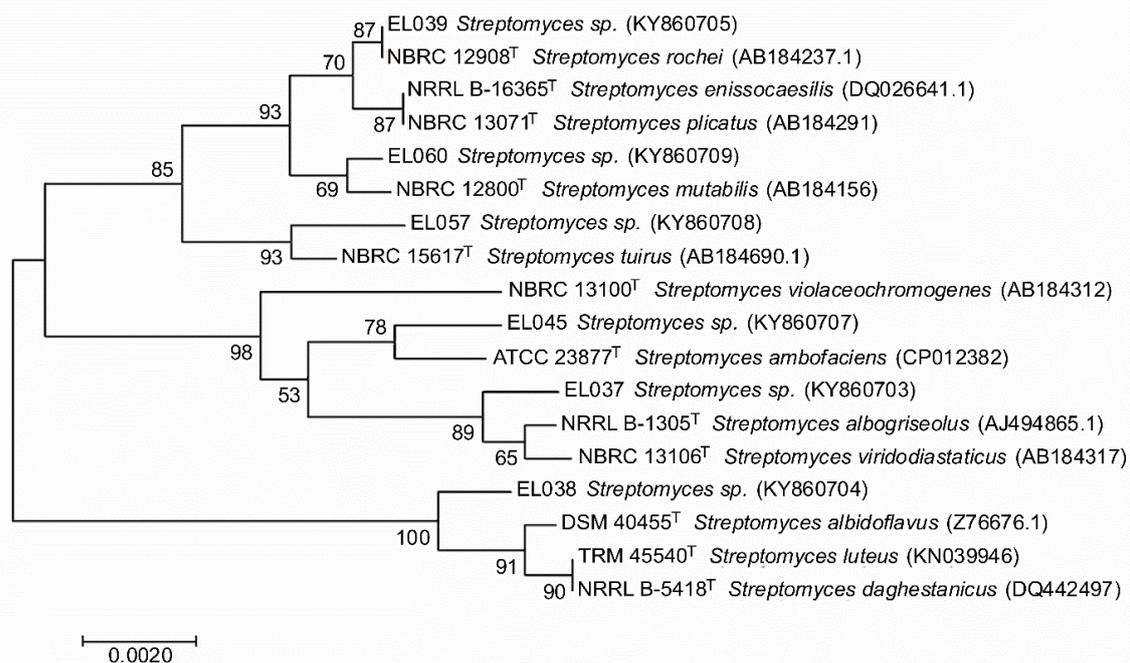
Also, EL039 could not grow with sodium citrate (0.02 w/v), thallium acetate (0.001 w/v) and zinc sulphate (0.005 w/v). Only L-Arg and L-His test results were positive for EL039. EL039 could not grow with sodium citrate (0.02 w/v), thallium acetate (0.001 w/v) and zinc sulphate (0.005 w/v) same as EL038. According to Komaki, *S. enissocaesilis* and *S. plicatus* strains are synonyms of *S. rochei* (Komaki 2021). Our consensus is that EL039 could be a member of this clade.

16S rDNA gene sequence similarity of **EL045** (KY860707) was 98.90% with *S. ambofaciens* (AB184690) and 98.96% with *S. violaceochromogenes* (AB184312). Reverse side pigment on ISP 3 differentiates closely related type strains. *S. ambofaciens*' reverse color on ISP3 agar media was yellow, EL045's yellowish-brown, and *S. violaceochromogenes*'s blue tint. Poor sporulation formed on nutrient agar. EL045 gave positive results to all degradation tests in this study. On the other hand, *S. violaceochromogenes* could not degrade starch. EL045 EL045 grew well at 45°C as *S. ambofaciens*. EL045 could use rhamnose as *S. ambofaciens* but *S. violaceochromogenes*. Aesculin, allantoin, arbutin hydrolysis tests were positive as *S. ambofaciens*. On the other hand, arabinose, fructose, and sucrose test results were negative dislike *S. ambofaciens*. We conclude that EL045 could be a new member of this clade.



**Table 5.** Phenotypic characteristics to separate the isolates from related type strains and nucleotide similarities (%) and variation ratio based on the 16S rRNA sequences

Characteristic	Isolates							<i>S. albogriseolus</i>	<i>S. albidoflavus</i>	<i>S. rochei</i>	<i>S. ambofaciens</i>	<i>S. tuius</i>	<i>S. mutabilis</i>
	EL037	EL038	EL039	EL045	EL057	EL060							
Spore surface	Warty	Smooth	Smooth	Smooth to warty	Smooth	Smooth	Warty	Smooth	Smooth	Smooth to warty	Smooth	Smooth	
Colour of aerial mycelium on ISP 3	Light grey	Light grey	Dark grey	White	White	Light grey	Whitish grey	Light grey	Dark grey	Light grey	white	Light grey	
Reverse side pigment on ISP 3	-	Yellow	Brown	Yellowish-brown	Greenish yellow-olive	-	-	-	Brown	Yellow	-	-	
Carbon utilization													
L(+) Arabinose	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	
D(+) Xylose	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	
D(-) Fructose	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	
$\alpha$ -L (+) Rhamnose	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	
D (+) Sucrose	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	
D(+) Raffinose	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	
16S rDNA similarity with highly related type strain %	99.65	98.13	98.41	98.90	98.47	98.40							
Variation ratio	5/1448	27/1442	23/1447	16/1448	22/1438	23/1447							



**Figure 1.** Neighbor-joining tree reconstructed based on 16S rDNA gene sequences showing the phylogenetic relationship between *Streptomyces* isolates and closely related type strains. Bootstrap values (1000 replication) >50% are given at nodes. (Total alignment 1436 bp)

**EL057** (KY860708) had 98.47% 16S rDNA gene sequence similarity with *S. tuius* (AB184690). The phylogenetic tree based on the neighbor-joining algorithm showed that the closest neighbor of EL057 was *S. tuius* (Figure 1). Aerial mycelium of EL057 was white and had Greenish yellow-olive diffusible pigment on oatmeal agar media. Light grey sporulation was on malt extract agar *S. tuius* was a mesophilic microorganism. Its optimum growth temperature was 28°C but, EL057 could also tolerate 45°C. EL057 gave negative results for starch and guanine degradation tests. Aesculin, allantoin, and urea hydrolyze test results were positive, arbutin hydrolyses and lysozyme resistance tests were negative. The nitrogen utilization test and some identical tests like L-Arabinose, fructose, arabinose, and sucrose test results were negative different from the closest type strain *S. tuius*. We conclude that EL057 could be a new strain of this clade.

Nowadays, researchers have been working on isolating actinobacteria from the soil, marine, even extreme habitats like the deep sea, desert, cryo environment, or volcanic environment rather than metagenomic approach because of isolating new bioactive compounds (Sivalingam et al., 2019). These consistent efforts may lead to discovering novel natural products obtained from new species of actinobacteria that may reform the field of agriculture and medicine (Hariprasad 2016).

*Streptomyces* is considered a crucial rhizobacterial genus and play a pivotal role in maintaining rhizosphere ecology and nutrient cycling. Secondary metabolites obtained from *Streptomyces* are used in numerous fields, including medical, biotechnological fields. Therefore, it is probably the essential taxa in secondary metabolite production, vital to the food industry, drug industry, and other industries (Harir et al., 2018). In this study, aerobic, mesophilic *Streptomyces* present in soil were isolated from Mersin Province in Turkey. The study's goal is a phenotypic and phylogenetic analysis of cultivable *Streptomyces* isolated from the ground with a high potential for secondary metabolites.

The 16S rRNA gene is generally used to define bacterial taxonomic positions. It has been reported in previous studies that there may be difficulties in the characterization of isolates of the genus *Streptomyces* due to its heterotypic structure. It was considering many species in the genus, it has been recommended using the polyphasic approach for characterization and identification processes by actinomycetologist (Anderson & Wellington; 2021). *Streptomyces* type strains can be assigned to distinct multimembered species groups as exemplified by species classified in *S. albidoflavus* (EL038), *S. ambofaciens* (EL045) clades. 16S rRNA gene-based methods may not be practical to classify the genus by species level.

Baoune et al. reported that endophytic isolate of *Streptomyces* sp. (Bmb4) was highly related to *S. mutabilis* and *S. rochei*, with approximately 98% identity in the same cluster (Baoune et al., 2018). This result is similar to our results. EL039 was closely related to *S. rochei*, and EL060 was highly associated with *S. mutabilis*.

It has been reported in previous studies that *S. ambofaciens*, *S. rochei*, *S. mutabilis*, *S. albogriseolus*, *S. albidoflavus* can be used to obtain many products of biotechnological importance (Hamed et al., 2018; Shao et al., 2019; Zhang et al., 2020; Patel et al., 2020). For example, Wongsariya and Thawai reported that soil isolates closely related to *S. rochei*, *S. mutabilis*, and *S. tuius* species were effective against aflatoxin-producing microfungi (Wongsariya & Thawai, 2019). Shao et al. reported that a genome of a polyethylene degradative strain belongs to *S. albogriseolus* (Shao et al., 2019).

The increase in studies on genome mining in recent years shows that this method has become popular among scientists (Aigle et al., 2014; Haas et al., 2017) because of a strain-level strategy for exploring novel natural products from microorganisms provides an alternative way.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

As a result, in this study, actinomycete isolation from soil samples taken from Ataş Oil Terminal in Mersin province and phylogenetic analyzes were performed. In the study, we saw again; the soil is a good reservoir of *Streptomyces*. According to the phylogenetic analyzes of the isolates whose 16S rRNA sequence analysis has been partially completed, priority is given to the isolates that show the most nucleotide differences with their closest relatives, and it is planned to complete the molecular and chemotaxonomic analyzes and bring them to the literature in future studies. On the other hand, A study on specific biosynthetic gene clusters in *Streptomyces* type strains can be planned.

Although antibiotic production comes to mind first when *Streptomyces* is mentioned, it should not be forgotten that this genus can be used in studies such as bioremediation and bioleaching. The studies for developing effective biodegradation for oils, polycyclic aromatic hydrocarbons, and environmental petroleum degradation with these *Streptomyces* isolates can also be planned. Hopefully, it would be some novel *Streptomyces* strains that are reservoirs of new secondary metabolites.

#### **Acknowledgements**

This work was supported by the Scientific Research Projects Commission of Ondokuz Mayıs University, Turkey (F-473).

#### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

#### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

#### **Statement of Research and Publication Ethics**

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Aigle, B., Lautru, S., Spitteller, D., Dickschat, J. S., Challis, G. L., Leblond, P., & Pernodet, J. L. (2014). Genome mining of *Streptomyces ambofaciens*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 41(2), 251-263.
- Anderson, A. S., & Wellington, E. M. (2001). The taxonomy of *Streptomyces* and related genera. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 51(3), 797-814.
- Arakawa, K. (2018). Manipulation of metabolic pathways controlled by signaling molecules, inducers of antibiotic production, for genome mining in *Streptomyces* spp. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 111(5), 743-751.
- Ayed, A., Slama, N., Mankai, H., Bachkouel, S., ElKahoui, S., Tabbene, O., & Limam, F. (2018). *Streptomyces tunisialis* sp. nov., a novel *Streptomyces* species with antimicrobial activity. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 111(9), 1571-1581.
- Baoune, H., El Hadj-Khelil, A. O., Pucci, G., Sineli, P., Loucif, L., & Polti, M. A. (2018). Petroleum degradation by endophytic *Streptomyces* spp. isolated from plants grown in contaminated soil of southern Algeria. *Ecotoxicology and environmental safety*, 147, 602-609.
- Baoune, H., Aparicio, J. D., Pucci, G., El Hadj-Khelil, A. O., & Polti, M. A. (2019). Bioremediation of petroleum-contaminated soils using *Streptomyces* sp. Hlh1. *Journal of Soils and Sediments*, 19(5), 2222-2230.
- Benhadj, M., Metrouh, R., Menasria, T., Gacemi-Kirane, D., Slim, F. Z., & Ranque, S. (2020). Broad-spectrum antimicrobial activity of wetland-derived *Streptomyces* sp. ActiF450. *EXCLI journal*, 19, 360.
- Boiron, P., Provost, F., & Dupont, B. (1993). *Laboratory Methods for the Diagnosis of Nocardiosis*. Paris, France: Institut Pasteur Press.
- Chen, C., Chen, S., Zhang, W., Yuan, F., Yu, J., & Liu, Q. (2020). *Streptomyces* sp. S501, a Marine Petroleum-Degrading Actinobacterium Isolated from Sediment of Yalujiang Estuary, Northern China, and Its Genome Annotation. *Current Microbiology*, 77(11), 3643-3650.
- Chun, J. (1995). Computer-assisted classification and identification of actinomycetes [PhD Thesis]. Newcastle, UK: University of Newcastle upon Tyne.
- Elnahas, M. O., Hou, L., Wall, J. D., & Majumder, E. L. W. (2021). Bioremediation Potential of *Streptomyces* sp. MOE6 for Toxic Metals and Oil. *Polysaccharides*, 2(1), 47-68.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogeny: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39, 783-791.
- Ferradji, F. Z., Mnif, S., Badis, A., Rebbani, S., Fodil, D., Eddouaouda, K., & Sayadi, S. (2014). Naphthalene and crude oil degradation by biosurfactant producing *Streptomyces* spp. isolated from Mitidja plain soil (North of Algeria). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86, 300-308.
- Gordon, R. E., Barnett, D. A., Handerhan, J. E., & Pang, C. H. N. (1974). *Nocardia coeliaca*, *Nocardia autotrophica*, and the *Nocardia* strain. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 24(1), 54-63.
- Gyobu, Y., & Miyadoh, S. (2001). Proposal to transfer *Actinomadura carminata* to a new subspecies of the genus *Nonomuraea* as *Nonomuraea roseoviolacea* subsp. *carminata* comb. nov. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 51(3), 881-889.
- Haas, D., Gerbaud, C., Sahin, N., Pernodet, J. L., & Lautru, S. (2017). Draft Genome Sequence of *Streptomyces* sp. M1013, a Close Relative of *Streptomyces ambofaciens* and *Streptomyces coelicolor*. *Genome announcements*, 5(29), e00643-17.
- Hamed, A., Abdel-Razek, A. S., Frese, M., Wibberg, D., El-Haddad, A. F., Ibrahim, T. M. A., Kalinowski, J., Sewald, N., & Shaaban, M. (2018). N-Acetylborrelidin B: a new bioactive metabolite from *Streptomyces mutabilis* sp. MII. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 73(1-2), 49-57.
- Hariprasad, K. V. (2016). Recent advancement in the development of biopesticides by Actinomycetes for the control of insect pests. In *Plant Growth Promoting Actinobacteria* (pp. 47-62). Springer, Singapore.
- Harir, M., Bendif, H., Bellahcene, M., Fortas, Z., & Pogni, R. (2018). *Streptomyces* secondary metabolites. *Basic Biology and Applications of actinobacteria*, 6, 99-122.
- Hashimoto, T., Kozono, I., Hashimoto, J., Ueoka, R., Kagaya, N., Fujie, M., Sato, N., Ikeda, H., & Shin-Ya, K. (2020). Novel macrolactam compound produced by the heterologous expression of a large cryptic biosynthetic gene cluster of *Streptomyces rochei* IFO12908. *The Journal of antibiotics*, 73(3), 171-174.

- Jones, K. L. (1949). Fresh isolates of actinomycetes in which the presence of sporogenous aerial mycelia is a fluctuating characteristic. *J Bacteriol.*, 57, 141–145.
- Jukes, T. H., & Cantor, C. R. (1969). Evolution of protein molecules. *Mammalian protein metabolism*, 3, 21-132.
- Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*. 1985; 39(4): 783-91.
- Komaki, H. (2021). Reclassification of 15 *Streptomyces* species as synonyms of *Streptomyces albogriseolus*, *Streptomyces althioticus*, *Streptomyces anthocyanicus*, *Streptomyces calvus*, *Streptomyces griseoincarnatus*, *Streptomyces mutabilis*, *Streptomyces pilosus* or *Streptomyces rochei*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(3), 004718.
- Komaki, H., & Tamura, T. (2021). Reclassification of *Streptomyces cinnamomensis* as a later heterotypic synonym of *Streptomyces virginiae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(5), 004813.
- Kelly, K. L. (1964). Color-name charts illustrated with centroid colors. Washinton DC, USA: *Inter-Society Color Council-National Bureau of Standards* National government publication.
- Küster, E., & Williams, S. T. (1964). Selection of media for isolation of *Streptomyces*. *Nature*, 202(4935), 928-929.
- Lane, D. J. (1991). 16S/23S rRNA sequencing. *Nucleic acid techniques in bacterial systematics*, 115-175. In: Stackebrandt E, Goodfellow M. New York: John Wiley and Sons.
- Muyzer, G., De Waal, E. C., & Uitterlinden, A. G. (1993). Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Applied and environmental microbiology*, 59(3), 695-700.
- Nascimento, R. P. D., Reis, A. D., Girio, F., Pereira, N., Bon, E. P. D. S., & Coelho, R. R. R. (2020). A thermotolerant xylan-degrading enzyme is produced by *Streptomyces malaysiensis* AMT-3 using by-products from the food industry. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63.
- Nimaichand, S., Devi, A. M., & Li, W. J. (2016). Direct plant growth-promoting ability of actinobacteria in grain legumes. In *Plant growth promoting actinobacteria* (pp. 1-16). Springer, Singapore.
- Panter, F., Bader, C. D., & Müller, R. (2021). Synergizing the potential of bacterial genomics and metabolomics to find novel antibiotics. *Chemical Science*, 12(17), 5994-6010.
- Patel, P., Patel, G., & Mehta, P. (2020). Extraction and Molecular Characterization of Antimicrobial Metabolites from *Streptomyces rochei* against Bacterial Leaf Blight of Cotton Caused by *Pantoea* sp. *Asian Journal of Biological and Life Sciences*, 9(2), 159.
- Pitcher, D. G., Saunders, N. A., & Owen, R. J. (1989). Rapid extraction of bacterial genomic DNA with guanidium thiocyanate. *Letters in applied microbiology*, 8(4), 151-156.
- Robl, D., Mergel, C. M., Costa, P. D. S., Pradella, J. G. D. C., & Padilla, G. (2019). Endophytic actinomycetes as potential producers of hemicellulases and related enzymes for plant biomass degradation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62.
- Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular biology and evolution*, 4(4), 406-425.
- Saygin, H. (2021). Genomic insight into the *Streptomyces aurantiacus* clade: reclassification of *Streptomyces ederensis* as a later heterotypic synonym of *Streptomyces umbrinus* and *Streptomyces glomeroaurantiacus* as a later heterotypic synonym of *Streptomyces aurantiacus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(5), 004797.
- Seong, C. N., Park, J. H., & Baik, K. S. (2001). An improved selective isolation of rare actinomycetes from forest soil. *Journal of Microbiology*, 39(1), 17-23.
- Shao, H., Chen, M., Fei, X., Zhang, R., Zhong, Y., Ni, W., Tao, X., He, X., Zhang, E., Yong, B., & Tan, X. (2019). Complete genome sequence and characterization of a polyethylene biodegradation strain, *Streptomyces Albogriseolus* LBX-2. *Microorganisms*, 7(10), 379.
- Sivalingam, P., Hong, K., Pote, J., & Prabakar, K. (2019). Extreme environment *Streptomyces*: potential sources for new antibacterial and anticancer drug leads? *International Journal of Microbiology*, 2019.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., & Kumar, S. (2013). MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular biology and evolution*, 30(12), 2725-2729.
- Thompson, J. D., Higgins, D. G., & Gibson, T. J. (1994). CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic acids research*, 22(22), 4673-4680.
- Waksman, S. A. & Henrici, A. T. (1943). The nomenclature and classification of the actinomycetes. *J. Bacteriol.*, 46, 337–341.

- Williams, S. T., Goodfellow, M., Alderson, G., Wellington, E. M. H., Sneath, P. H. A., & Sackin, M. J. (1983). Numerical classification of *Streptomyces* and related genera. *Microbiology*, 129(6), 1743-1813.
- Wongsariya, K., & Thawai, C. (2019). Antifungal Activity against the Growth of Aflatoxin Producing Fungi from Soil Actinobacteria. *Journal of Advanced Agricultural Technologies Vol*, 6(3).
- Viana Marques, D. D. A., Machado, S. E. F., Ebinuma, V. C. S., Duarte, C. D. A. L., Converti, A., & Porto, A. L. F. (2018). Production of  $\beta$ -lactamase inhibitors by *Streptomyces* species. *Antibiotics*, 7(3), 61.
- Yoon, S. H., Ha, S. M., Kwon, S., Lim, J., Kim, Y., Seo, H., & Chun, J. (2017). Introducing EzBioCloud: a taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 67(5), 1613.
- Zhang, Y., Wang, M., Tian, J., Liu, J., Guo, Z., Tang, W., & Chen, Y. (2020). Activation of paulomycin production by exogenous  $\gamma$ -butyrolactone signaling molecules in *Streptomyces albidoflavus* J1074. *Applied microbiology and biotechnology*, 104(4), 1695-1705.
- URL-1: [lpsn.dsmz.de](https://lpsn.dsmz.de) [Internet]. Germany: LPSN-List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature Available from: <https://lpsn.dsmz.de/genus/streptomyces>. (18.04.2022)

## On Absolute Cesáro Series Space And Certain Matrix Transformations

Fadime GÖKÇE<sup>1\*</sup>

### Abstract

On recent paper, the paranormed space  $|C_{\lambda,\mu}|(p)$  which is defined as the domain of Cesáro matrix in the Maddox's space  $l(p)$  has been introduced and studied in (Gökçe and Sarıgöl, 2019). In this study, some characterizations of matrix operators from the Absolute Cesáro series space  $|C_{\lambda,\mu}|(p)$  to the classical sequence spaces  $c, c_0, l_\infty$  are given. Also, it is shown that the matrix operators between the absolute Cesáro series space and the spaces  $c, c_0, l_\infty$  are bounded operators. Finally, certain results are obtained as a special case.

**Keywords:** Absolute summability, matrix transformations, Cesáro matrix, bounded linear operators.

## Mutlak Cesáro Seri Uzayı Ve Bazı Matris Dönüşümleri

### Öz

Son zamanlarda, Cesáro matrisinin,  $l(p)$  Maddox uzayı içinde toplama alanı olarak tanımlanan  $|C_{\lambda,\mu}|(p)$  paranormlu uzayı tanıtılmış ve çalışılmıştır, (Gökçe ve Sarıgöl, 2019). Bu çalışmada,  $|C_{\lambda,\mu}|(p)$  mutlak Cesáro seri uzayından  $c, c_0, l_\infty$  klasik dizi uzaylarına tanımlanan matris operatörlerin karakterizasyonları verilmiştir. Ayrıca mutlak Cesáro seri uzayları ve  $c, c_0, l_\infty$  uzayları arasındaki matris operatörlerin sınırlı lineer operatör olduğu gösterilmiştir. Son olarak, özel seçimlerle bazı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mutlak Toplanabilme, matris dönüşümler, Cesáro matrisi, sınırlı lineer operatörler.

<sup>1</sup>Pamukkale University, Department of Statistics, Denizli, Turkey, fgokce@pau.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1819-3317>



## 1. Introduction

The summability theory is one of the most important fields of mathematics, which has various applications in analysis, applied mathematics, engineering sciences, specially quantum mechanics, probability theory, Fourier analysis, approximation theory and fixed point theory, etc. It deals with the generalization of the concept of convergence of sequences and series, and aims to assign a limit for non-convergent sequences and series using an operator described by an infinite matrix. The reason why matrices are used for a general linear operator is that a linear operator from a sequence space to another can generally be given with an infinite matrix. This reveals the importance of sequence spaces and matrix operators in summability theory. In recent times, the literature has grown up concerned with characterizing all matrix operators which transform one given sequence space into another. For example, the absolute Cesàro series space  $|C_{\lambda, \mu}|(p)$  has been introduced and some matrix characterizations of the matrix classes related to the space have been examined in (Gökçe and Sarıgöl, 2019), (see also (Gökçe, 2021; Gökçe and Sarıgöl, 2020; Gökçe and Sarıgöl, 2018; Gökçe and Sarıgöl, 2019a; Güleç, 2020; Sarıgöl, 2016; Zengin and İlkhan, 2019)). In this paper, we investigate the matrix class  $(|C_{\lambda, \mu}|(p), \Gamma)$  where  $\Gamma = \{c, c_0, l_\infty\}$ , and then we present some results.

## 2. Materials and Methods

Let  $\omega$  stands for the set of all complex (or real) valued sequences. Any vector subspace of  $\omega$  is called as a sequence space. We represent the set of all convergent, null and bounded sequences and the set of all convergent and bounded series spaces by  $c, c_0, l_\infty, c_s, b_s$ , respectively. Let  $X, Y$  be arbitrary sequence spaces and  $U = (u_{nv})$  be any infinite matrix of complex numbers. By  $U(x) = (U_n(x))$ , we denote the  $U$ -transform of the sequence  $x = (x_v)$  if the series

$$U_n(x) = \sum_{v=0}^{\infty} u_{nv} x_v$$

is convergent for any integer  $n$ . If  $U(x) \in Y$ , whenever  $x \in X$ , then it is said that  $U$  defines a matrix transformation from  $X$  into  $Y$ , and the class of all infinite matrices  $U$  such that  $U : X \rightarrow Y$  is represented by  $(X, Y)$ . Besides, the concept of matrix domain of an infinite matrix  $U$  in a sequence space  $X$  is defined by the set

$$X_U = \{x \in \omega : U(x) \in X\}$$

which is also a sequence space.

The Maddox's space defined by

$$l(p) = \left\{ x = (x_n) : \sum_{n=0}^{\infty} |x_n|^{p_n} < \infty \right\}$$

has an important role in summability theory. Note that  $l(p)$  is an  $FK$  space which is a complete metrizable locally convex space with continuous coordinates  $r_n: X \rightarrow \mathbb{C}$  defined by  $r_n(x) = x_n$  for all  $n \in \mathbb{N}$ , according to its paranorm given by

$$g(x) = \left( \sum_{k=0}^{\infty} |x_k|^{p_k} \right)^{1/M}$$

where  $M = \max \{1; \sup_k p_k\}$ . Also, this space has AK property that is every sequence  $x \in l(p)$  has a unique representation  $x = \sum_{k=0}^{\infty} x_k e^{(k)}$  where  $e^{(k)}$  is the sequence whose only non-zero term is 1 in the  $k$ th place for each  $k \in \mathbb{N}$  (Maddox, 1969; Maddox, 1968; Maddox, 1967).

Let  $\sum a_n$  be an infinite series with the sequence of its partial sum  $s = (s_n)$ ,  $\theta = (\theta_n)$  be any sequence of positive real numbers and  $p = (p_n)$  be any bounded sequence of positive real numbers. The series  $\sum a_n$  is said to be summable  $|U, \theta_n|(p)$  if

$$\sum_{n=1}^{\infty} \theta_n^{p_{n-1}} |U_n(s) - U_{n-1}(s)|^{p_n} < \infty,$$

(Gökçe and Sarıgöl, 2018).

Let  $\sigma_n^{\lambda, \mu}$  be the  $n$ -th Cesàro mean  $(C, \lambda, \mu)$  of order  $(\lambda, \mu)$  with  $\lambda + \mu \neq -1, -2, \dots$  of the sequence  $(s_n)$ , i.e.,

$$\sigma_n^{\lambda, \mu} = \frac{1}{A_n^{\lambda + \mu}} \sum_{v=0}^n A_{n-v}^{\lambda-1} A_v^{\mu} s_v,$$

where

$$A_n^{\lambda} = \frac{(\lambda + 1)(\lambda + 2) \dots (\lambda + n)}{n!},$$

$$A_0^{\lambda} = 1, A_{-n}^{\lambda} = 0, n > 0.$$

If we consider the concept of absolute summability and Cesàro matrix with  $\theta_n = n$  for all  $n \in \mathbb{N}$ , then, we get immediately the absolute Cesàro summability method. Let us give more clear definition of the method: if

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^{p_{n-1}} |\sigma_n^{\lambda, \mu} - \sigma_{n-1}^{\lambda, \mu}|^{p_n} < \infty,$$

then, the series  $\sum a_n$  is said to be summable  $|C, \lambda, \mu|(p)$ .

The space consisting all series summable by the absolute Cesàro summability method can be expressed as

$$|C_{\lambda,\mu} | (p) = \left\{ x: \sum_{n=1}^{\infty} n^{p_n-1} \left| \sum_{v=0}^n \left( \frac{A_{n-v}^{\lambda-1}}{A_n^{\lambda+\mu}} - \frac{A_{n-v-1}^{\lambda-1}}{A_{n-1}^{\lambda+\mu}} \right) A_v^\mu S_v \right|^{p_n} < \infty \right\}.$$

Note that according to notation of domain, the absolute Cesàro space may be redefined as  $|C_{\lambda,\mu} | (p) = (l(p))_{T^{\lambda,\mu}(p)}$  where the matrix  $T^{\lambda,\mu}(p)$  is given by

$$t_{nv}^{\lambda,\mu}(p) = \begin{cases} 1, & n, v = 0 \\ \frac{vA_{n-v}^{\lambda-1}A_v^\mu}{n^{1/p_n}A_n^{\lambda+\mu}}, & 1 \leq v \leq n \\ 0, & v > n. \end{cases}$$

Moreover, it is known that every triangle matrix has a unique inverse which is also a triangle, so  $T^{\lambda,\mu}(p)$  has the inverse matrix  $S^{\lambda,\mu}(p)$  such that

$$s_{nv}^{\lambda,\mu}(p) = \begin{cases} 1, & n, v = 0 \\ v^{1/p_v} \frac{A_{n-v}^{-\lambda-1}A_v^{\lambda+\mu}}{nA_n^\mu}, & 1 \leq v \leq n \\ 0, & v > n \end{cases}$$

where  $\lambda + \mu, \mu \neq -1, -2, \dots$

Throughout the whole paper, we suppose that  $p = (p_n)$  is any bounded sequence of positive real numbers with  $0 < \inf p_n < \infty$  and  $p_n^*$  is the conjugate of  $p_n$  such that  $1/p_n + 1/p_n^* = 1$  for  $p_n > 0, 1/p_n^* = 0$  for  $p_n = 1$ .

Before the main theorems, we remind certain lemmas which have important role in their proofs :

**Lemma 2.1.** (Grosse – Erdmann, 1993) Let  $p = (p_v)$  be any bounded sequence of strictly positive numbers.

(i) If  $p_v \leq 1$ , for all  $v$ , then,

$$U \in (l(p), c) \Leftrightarrow (a) \lim_{n \rightarrow \infty} u_{nv} \text{ exists for each } v, \quad (b) \sup_{n,v} |u_{nv}|^{p_v} < \infty$$

$$U \in (l(p), c_0) \Leftrightarrow (c) \lim_{n \rightarrow \infty} u_{nv} = 0 \text{ for each } v, \quad (b) \text{ holds}$$

and

$$U \in (l(p), l_\infty) \Leftrightarrow (b) \text{ holds.}$$

(ii) If  $p_v > 1$  for all  $v$ , then,

$$U \in (l(p), c) \Leftrightarrow (a') \lim_{n \rightarrow \infty} u_{nv} \text{ exists for each } v, \quad (b') \text{ there is a number } M > 1 \text{ such that}$$

$$\sup_n \sum_{v=0}^{\infty} |u_{nv} M^{-1}|^{p_v^*} < \infty,$$

$$U \in (l(p), c_0) \Leftrightarrow (c') \lim_{n \rightarrow \infty} u_{nv} = 0 \text{ for each } v, \quad (b') \text{ holds}$$

and

$$U \in (l(p), l_\infty) \Leftrightarrow (b') \text{ holds.}$$

**Lemma 2.2.** (Malkowsky and Rakocevic, 2007) Let  $X$  be an  $FK$  space with  $AK$  property,  $T$  be triangle,  $S$  be its inverse and  $Y$  be an arbitrary subset of  $\omega$ . Then, we have  $U \in (X_T, Y)$  if and only if  $\tilde{U} \in (X, Y)$  and  $V^{(n)} \in (X, c)$  for all  $n$ , where

$$\tilde{u}_{nv} = \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} s_{jv}, n, v = 0, 1, \dots$$

$$v_{mv}^{(n)} = \begin{cases} \sum_{j=v}^m u_{nj} s_{jv}, & 0 \leq v \leq m \\ 0, & v > m. \end{cases}$$

**Lemma 2.3.** (Malkowsky and Rakocevic, 2000) Let  $T$  be a triangle. Then, for  $X, Y \subset \omega, U \in (X, Y_T)$  if and only if  $B = TU \in (X, Y)$ .

**Lemma 2.4.** (Wilansky, 1984) Matrix transformations between  $FK$ -spaces are continuous.

**Theorem 2.5** (Gökçe and Sarıgöl, 2018) Let  $\lambda + \mu, \mu \neq -1, -2, \dots$  and  $(p_v)$  be a bounded sequence of non-negative numbers. The space  $|C_{\lambda, \mu}|(p)$  is a linear space with the coordinate-wise addition and scalar multiplication, and also the space is an  $FK$ -spaces with respect to the paranorm

$$g(x) = \left( \sum_{v=0}^{\infty} |T_v^{\lambda, \mu}(p)(x)|^{p_v} \right)^{1/M}$$

where  $M = \max \{1; \sup_v p_v\}$ .

On the other hand,  $|C_{\lambda, \mu}|(p)$  is linearly isomorphic to the Maddox's space  $l(p)$ .

In the continuation of the study, for simplicity, we take

$$\Omega_{nv}^{\lambda, \mu} = \frac{A_v^{\lambda+\mu} A_{n-v}^{-\lambda-1}}{n A_n^\mu}.$$

### 3. Findings and Discussion

**Theorem 3.1.** Let  $\lambda + \mu, \mu \neq -1, -2, \dots$ ,  $U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers and  $p = (p_v)$  be any bounded sequence of positive real numbers with  $p_v \leq 1$  for all  $v$ . Then

- (a)  $U \in (|C_{\lambda, \mu}|(p), c)$  if and only

$$\sum_{k=v}^{\infty} v^{1/p_v} \Omega_{kv}^{\lambda, \mu} u_{nk} \text{ converges for all } v, \tag{1}$$

$$\sup_{m,v} \left| v^{1/p_v} \sum_{k=v}^m u_{nk} \Omega_{kv}^{\lambda, \mu} \right|^{p_v} < \infty \tag{2}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_{n0} \text{ and } \lim_{n \rightarrow \infty} v^{1/p_v} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \Omega_{jv}^{\lambda, \mu}, \text{ for each } v \geq 1, \text{ exists} \tag{3}$$

$$\sup_{n,v} \left\{ |u_{n0}|^{p_0} + \left| v^{1/p_v} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \Omega_{jv}^{\lambda, \mu} \right|^{p_v} \right\} < \infty. \tag{4}$$

(b)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |(p), c_0)$  if and only if the conditions (1), (2), (4) hold and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_{n0} = 0 \text{ and } \lim_{n \rightarrow \infty} v^{1/p_v} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \Omega_{jv}^{\lambda, \mu} = 0 \text{ for all } v \geq 1. \tag{5}$$

(c)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |(p), l_{\infty})$  if and only if the conditions (1), (2), (4) hold.

**Proof** Assume that  $p_v \leq 1$  for all  $v$ . Since  $|C_{\lambda, \mu} |(p) = (l(p))_{T^{\lambda, \mu}(p)}$ , it follows from Lemma 2.2 that  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |(p), c)$  if and only if  $\tilde{U} \in (l(p), c)$  and  $V^{(n)} \in (l(p), c)$  where

$$\tilde{u}_{nv} = \begin{cases} u_{n0} & v = 0, n \geq 0 \\ v^{1/p_v} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \Omega_{jv}^{\lambda, \mu} & v \geq 1, n \geq 0 \end{cases}$$

and

$$v_{mv}^{(n)} = \begin{cases} u_{n0}, & v = 0 \\ v^{1/p_v} \sum_{j=v}^m u_{nj} \Omega_{jv}^{\lambda, \mu} & 1 \leq v \leq m \\ 0, & v > m. \end{cases}$$

It is obvious that by Lemma 2.1,  $\tilde{U} \in (l(p), c)$  if and only if the conditions (3), (4) hold. Also,  $V^{(n)} \in (l(p), c)$  if and only if the conditions (1) and (2) hold which concludes the first part of the proof.

The remaining part of the proof can be proved in similar way. So, it has been left to reader.

**Theorem 3.2.** Let  $\lambda + \mu, \mu \neq -1, -2, \dots, U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers and  $p = (p_v)$  be any bounded sequence of positive real numbers with  $p_v > 1$  for all  $v$ . Then

(a)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} | (p), c)$  if and only if there exists an integer  $M > 1$  such that

$$\sup_m \sum_{v=1}^m \left| M^{-1} v^{1/p_v} \sum_{k=v}^m u_{nk} \Omega_{kv}^{\lambda, \mu} \right|^{p_v^*} < \infty \tag{6}$$

$$\sup_n \left\{ |M^{-1} u_{n0}|^{p_0^*} + \sum_{v=1}^{\infty} \left| M^{-1} v^{1/p_v} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \Omega_{jv}^{\lambda, \mu} \right|^{p_v^*} \right\} < \infty \tag{7}$$

and the conditions (1), (3) hold.

(b)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} | (p), c_0)$  if and only if the conditions (1), (5), (6) and (7) hold.

(c)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} | (p), l_\infty)$  if and only if the conditions (1), (6), (7) hold.

**Proof** Let  $p_v > 1$  for all  $v$ . Since  $|C_{\lambda, \mu} | (p) = (l(p))_{T^{\lambda, \mu}(p)}$ , it follows from Lemma 2.2 that  $U \in (|C_{\lambda, \mu} | (p), c_0)$  if and only if  $\tilde{U} \in (l(p), c_0)$  and  $V^{(n)} \in (l(p), c)$  where the matrices  $\tilde{U}$  and  $V^{(n)}$  are defined as in the above theorem. It follows from Lemma 2.1,  $\tilde{U} \in (l(p), c_0)$  if and only if the conditions (5), (7) hold. Also,  $V^{(n)} \in (l(p), c)$  if and only if the conditions (1) and (6) hold. So, it completes the proof of (b).

The other part of the theorem can be proved in similar way.

**Theorem 3.3.** Let  $U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers,  $\theta = (\theta_n)$  be any sequence of positive real numbers,  $p = (p_v)$  be any bounded sequence of positive numbers and  $\Gamma = \{c, c_0, l_\infty\}$ . If  $U \in (|C_{\lambda, \mu} | (p), \Gamma)$ , then  $U$  defines a bounded linear operator.

**Proof** Since the spaces  $c, c_0, l_\infty$  are *BK*-spaces, normed *FK*-spaces, using Lemma 2.4 and Theorem 2.5, the proof of Theorem can be immediately obtained.

#### 4. Conclusions

In this section, we present some results obtained with special selections of our main theorems:

Take the matrix  $L = (l_{nk})$  as

$$l_{nj} = \begin{cases} 1, & 0 \leq j \leq n \\ 0, & j > n, \end{cases}$$

Since  $b_s = (l_\infty)_L$  and  $c_s = (c)_L$  the matrix classes  $(|C_{\lambda, \mu} | (p), b_s)$  and  $(|C_{\lambda, \mu} | (p), c_s)$  can be characterized as follows with Lemma 2.3 :

**Corollary 4.1.** Put  $u(n, v) = \sum_{j=0}^n u_{jv}$  instead of  $u_{nv}$  in the Theorem 3.1 and Theorem 3.2. Then,

(a) if  $p_v \leq 1$  for all  $v$ ,

$$(|C_{\lambda, \mu} | (p), b_s) \Leftrightarrow (1), (2), (4) \text{ hold,}$$

$$(|C_{\lambda, \mu} | (p), c_s) \Leftrightarrow (1), (2), (3), (4) \text{ hold,}$$

(b) if  $p_v > 1$  for all  $v$ ,

$$(|C_{\lambda, \mu} | (p), b_s) \Leftrightarrow (1), (6), (7) \text{ hold,}$$

$$(|C_{\lambda, \mu} | (p), c_s) \Leftrightarrow (1), (3), (6), (7) \text{ hold.}$$

If we take  $p_v = 1$  and  $p_v = p$  for all  $v$  in Theorem 3.1 and Theorem 3.2, respectively, then the following results given in (Güleç, 2020) are easily obtained :

**Corollary 4.2.** Let  $\lambda + \mu, \mu$  be non-negative integers,  $U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers. Then

(a)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |, c)$  if and only if

$$\sum_{k=v}^{\infty} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{kA_k^{\mu}} u_{nk} \text{ converges for all } v \geq 1, \tag{8}$$

$$\sup_{m, v \geq 1} \left| vA_v^{\lambda+\mu} \sum_{k=v}^m u_{nk} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{kA_k^{\mu}} \right| < \infty \tag{9}$$

$$\sup_{n, v \geq 1} \left| vA_v^{\lambda+\mu} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{jA_j^{\mu}} \right| < \infty \tag{10}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{vA_v^{\lambda+\mu} A_{j-v}^{-\lambda-1}}{jA_j^{\mu}} \text{ exists for each } v \geq 1.$$

(b)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |, c_0)$  if and only if the conditions (8), (9), (10) hold and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{vA_v^{\lambda+\mu} A_{j-v}^{-\lambda-1}}{jA_j^{\mu}} = 0 \text{ for all } v \geq 1.$$

(c)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |, l_{\infty})$  if and only if the conditions (8), (9), (10) hold.

**Corollary 4.3.** Let  $\lambda + \mu, \mu \neq -1, -2, \dots$ ,  $U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers and  $p > 1$ . Then,

(a)  $U \in (|C_{\lambda, \mu} |_p, c)$  if and only if

$$\sum_{k=v}^{\infty} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{kA_k^\mu} u_{nk} \text{ converges for all } n, v \geq 1, \tag{11}$$

$$\sup_m \sum_{v=1}^m \left| v^{1/p} A_v^{\lambda+\mu} \sum_{k=v}^m u_{nk} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{kA_k^\mu} \right|^{p^*} < \infty, n \geq 1, \tag{12}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} v^{1/p} A_v^{\lambda+\mu} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{jA_j^\mu} \text{ exists for each } n, v \geq 1, \tag{13}$$

$$\sup_n \sum_{v=1}^{\infty} \left| v^{1/p} A_v^{\lambda+\mu} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{jA_j^\mu} u_{nj} \right|^{p^*} < \infty \tag{14}$$

hold.

(b)  $U \in (|C_{\lambda,\mu}|_p, c_0)$  if and only if the conditions (11), (12), (14) hold and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} v^{1/p} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{vA_v^{\lambda+\mu} A_{j-v}^{-\lambda-1}}{jA_j^\mu} = 0 \text{ for all } n, v \geq 1.$$

(c)  $U \in (|C_{\lambda,\mu}|_p, l_\infty)$  if and only if the conditions (11), (12), (14) hold.

Note that if we take  $\lambda > -1, \mu = 0$  and  $p_n = p$ , for all  $n$  in the definition of the space  $|C_{\lambda,\mu}|(p)$ , it is reduced to the space

$$|C_\lambda|_p = \left\{ a = (a_n): \sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{1}{n^{1/p} A_n^\lambda} \sum_{v=0}^n A_{n-v}^{\lambda-1} v a_v \right|^p < \infty \right\}$$

studied in (Sarigöl, 2016) and so the following new results are immediately obtained from our main theorems:

**Corollary 4.4.** Let  $\lambda$  be non-negative integers,  $U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers.

Then

(a)  $U \in (|C_\lambda|, c)$  if and only if

$$\sum_{k=v}^{\infty} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{k} u_{nk} \text{ converges for all } v, \tag{15}$$

$$\sup_{m,v} \left| vA_v^\lambda \sum_{k=v}^m u_{nk} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{k} \right| < \infty \tag{16}$$

$$\sup_{n,v} \left| vA_v^{\lambda+\mu} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{j} \right| < \infty \tag{17}$$



$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{j} \text{ exists for each } v.$$

(b)  $U \in (|C_{\lambda}|, c_0)$  if and only if the conditions (15), (16), (17) hold and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{j} = 0 \text{ for all } v.$$

(c)  $U \in (|C_{\lambda}|, l_{\infty})$  if and only if the conditions (15), (16), (17) hold.

**Corollary 4.5.** Let  $\lambda \neq -1, -2, \dots$ ,  $U = (u_{nv})$  be an infinite matrix of complex numbers. Then,

(a)  $U \in (|C_{\lambda}|_p, c)$  if and only if

$$\sum_{k=v}^{\infty} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{k} u_{nk} \text{ converges for all } v, \tag{18}$$

$$\sup_m \sum_{v=1}^{\infty} \left| v^{1/p} A_v^{\lambda} \sum_{k=v}^m u_{nk} \frac{A_{k-v}^{-\lambda-1}}{k} \right|^{p^*} < \infty, \tag{19}$$

$$\sup_n \sum_{v=1}^{\infty} \left| v^{1/p} u_{nv} A_v^{\lambda} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{j} \right|^{p^*} < \infty \tag{20}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{j} \text{ exists for each } v,$$

hold.

(b)  $U \in (|C_{\lambda}|_p, c_0)$  if and only if the conditions (18), (19), (20) hold and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=v}^{\infty} u_{nj} \frac{A_{j-v}^{-\lambda-1}}{j} = 0 \text{ for each } v.$$

(c)  $U \in (|C_{\lambda}|_p, l_{\infty})$  if and only if the conditions (18), (19), (20) hold.

### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- Gökçe, F. (2021). Compact and Matrix Operators on the Space  $|\bar{N}_p^\theta|_k$ . *Fundamental Journal of Mathematics and Applications* 4(2), 124-133.
- Gökçe, F., Sarıgöl, M.A. (2020). Series spaces derived from absolute Fibonacci summability and matrix transformations. *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana*, 13, 29-38.
- Gökçe, F., Sarıgöl, M.A. (2019). Generalization of the absolute Cesàro space and some matrix transformations. *Numerical Functional Analysis and Optimization*, 40, 1039-1052.
- Gökçe, F., Sarıgöl, M.A. (2019a). Extension of Maddox's space  $l(\mu)$  with Nörlund means. *Asian-European Journal of Mathematics* 12.06 (2019), 2040005.
- Gökçe, F., Sarıgöl, M.A. (2018). A new series space  $|\bar{N}_p^\theta|(\mu)$  and matrix transformations with applications. *Kuwait Journal of Science*, 45(4), 1-8.
- Grosse – Erdmann, K.G. (1993). Matrix transformations between the sequence spaces of Maddox, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 180(1), 223-238.
- Güleç, G. C. H. (2020). Applications of measure of noncompactness in the series spaces of generalized absolute Cesaro means. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 60-73.
- Maddox, I.J. (1969). Some properties of paranormed sequence spaces, *Journal of the London Mathematical Society*, 1, 316-322.
- Maddox, I.J. (1968). Paranormed sequence spaces generated by infinite matrices, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 64, 335-340.
- Maddox, I.J. (1967). Spaces of strongly summable sequences, *The Quarterly Journal of Mathematics* 18, 345-355.
- Malkowsky, E., Rakocevic, V. (2007). On matrix domains of triangles. *Applied Mathematics and Computation*, 189(2), 1146-1163.
- Malkowsky, E., Rakocevic, V. (2000). An introduction into the theory of sequence space and measures of noncompactness, *Zbornik Radova.(Beograd)*, 9(17), 143-234.
- Sarıgöl, M.A. (2016). Spaces of series summable by absolute Cesàro and matrix operators, *Communications in Mathematics and Applications*, 7, 11-22.
- Wilansky, A., (1984). *Summability through Functional Analysis*. Mathematical Studies 85, North-Holland, Amsterdam.
- Zengin Alp, P., Ilkhan, M. (2019). On the difference sequence space  $l_p(\hat{T}^q)$ . *Math. Sci. Appl. E- Notes*, 7(2), 161-173.

## Forecasting Monthly Housing Sales to Foreigners with Type 1 Fuzzy Regression Functions Approach Based on Ridge Regression

Minel DEMIRKAN PISKIN<sup>1</sup>, Eren BAS<sup>2\*</sup>

### Abstract

Artificial neural networks, fuzzy inference systems, and hybrid methods where these methods are used together have been frequently used in forecasting problems. Although fuzzy inference systems produce very effective results in forecasting problems, the fact that many classical fuzzy inference systems depend on the rule base makes it difficult to implement these methods. The type 1 fuzzy regression functions approach, which is not dependent on the rule base and has a simpler structure than many fuzzy inference systems, is frequently used in forecasting problems. Although the Type 1 fuzzy regression functions approach has superior forecasting performance, it is known that the method has a multicollinearity problem in the application process of this method. The type 1 fuzzy regression functions approach based on ridge regression both eliminates the multicollinearity problem of the Type 1 fuzzy regression functions approach and produce better forecasting results than the Type 1 fuzzy regression functions approach. In this study, the forecasting of monthly house sales to foreigners is carried out for the first time with the Type 1 fuzzy regression functions approach based on ridge regression, and the results of the analysis are compared with many methods suggested in the literature. As a result of the analysis, it is concluded that the forecasting results obtained with the Type 1 fuzzy regression functions approach based on ridge regression produce better results than some other methods in the literature.

**Keywords:** Fuzzy inference systems, Type 1 fuzzy regression functions approach, Ridge regression, Forecasting, Housing sales.

## Ridge Regresyona Dayalı Tip 1 Bulanık Regresyon Fonksiyonları Yaklaşımı ile Yabancılara Yapılan Aylık Konut Satışı Öngörüsü

### Öz

Yapay sinir ağları, bulanık çıkarım sistemleri ve bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı melez yöntemler öngörü probleminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bulanık çıkarım sistemleri öngörü problemlerinde oldukça etkili sonuçlar üretmesine rağmen birçok klasik bulanık çıkarım sisteminin kural tabanına bağlı olması bu yöntemlerin uygulanmasını güçleştirmektedir. Kural tabanına bağlı olmayan ve birçok bulanık çıkarım sisteminden daha basit bir yapıya sahip olan Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı öngörü probleminde sıklıkla kullanılmaktadır. Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı, üstün öngörü performansına sahip olmasına rağmen bu yöntemin uygulanma sürecinde yöntemin çoklu bağlantı problemlerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak amacı ile önerilen ridge regresyona dayalı Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı, hem Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımının sahip olduğu çoklu bağlantı problemlerini ortadan kaldırmış hem de Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımından daha iyi öngörü sonuçları üretmiştir. Bu çalışmada yabancılara yapılan konut satışı öngörüsü ilk defa ridge regresyona dayalı Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen analiz sonuçları literatürde önerilen birçok yöntem ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ridge regresyona dayalı Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı ile elde edilen öngörü sonuçlarının literatürdeki diğer bazı yöntemden daha iyi sonuçlar ürettiğine varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık çıkarım sistemleri, Tip 1 bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı, ridge regresyon, Öngörü, Konut satışı.

<sup>1</sup>Giresun University, Department of Statistics, Faculty of Arts and Science, Giresun, Turkey, mineldemirkan@yahoo.com

<sup>2</sup>Giresun University, Department of Statistics, Faculty of Arts and Science, Giresun, Turkey, eren.bas@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8166-1331>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0263-8804>

## 1. Introduction

Housing is a structure that meets the security need, which is one of the most basic needs of the household, and at the same time, it appears as housing, social, cultural, investment goods and consumption goods for the households. The policies implemented by the countries regarding the purchase and sale of housing, the economic level of the societies, the level of welfare, technological developments, and the travels of the people are important factors affecting the purchase and sale of housing. The intense interaction of people, societies, and states living in different parts of the world, especially with globalization, has reshaped the economic order in the world (Bayar (2008)). This situation has caused it to have an important place in the foreign demand as well as the domestic demand in housing sales. Thus, we can say that globalization has significantly affected the housing sales to foreigners in the housing sector.

Many countries, including Turkey, implement support or incentive policies for both their citizens and foreign nationals. The Housing Development Administration (TOKİ) was established in 1984 to implement the policies to support the construction and real estate sector in Turkey, aiming to meet the housing needs of especially low and middle-income citizens, which was established for the production of social housing. In the following years, with the increase in tourism, urban transformation projects, and progress in the construction sector, housing sales in Turkey gained momentum. In addition, the policy of granting citizenship to foreign citizens by acquiring real estate within the scope of the incentive policy has also accelerated the sale of housing. In line with this application, according to the last regulation made in Turkey in 2018, the right to acquire Turkish citizenship was given by acquiring real estate worth \$250000. Turkey's natural beauties, livable environmental conditions, especially the depreciation of the Turkish lira against other countries' currencies in recent years, and the incentives in the housing sector have made Turkey a country where foreigners prefer to live. This has led to a rapid increase in the sales of housing to foreigners.

When the studies on house sales to both our citizens and foreigners have been examined, it is seen that the related studies are generally carried out with classical time series analysis methods, artificial neural networks, and some hybrid methods in which these methods are used together. Although these methods are known to produce successful results in many time series forecasting problems, fuzzy inference systems have also been frequently used in forecasting problems in recent years.

If we refer to the studies made with traditional statistical forecasting models; Öztürk and Fitöz (2009) revealed the determinants of housing supply and housing demand in the Turkish housing sector. Lebe and Aktaş (2014) investigated the short and long-term housing demand for Turkey concerning housing policies in Turkey. Aktürk and Tekman (2016) analyzed the consumers residing

in Erzurum city centre in their research on the factors affecting their housing purchase decisions. Uysal and Yiğit (2016) investigated the factors affecting the demand for housing in Turkey. Özaktaş (2019) analyzed to what extent the depreciation of the Turkish lira against foreign currencies affects house sales to foreigners, using dynamic least squares, the error correction model, and the Engle-Granger cointegration test.

If the studies made with artificial intelligence forecasting models are mentioned; Nghiep et al. (2001) compared multiple regression analysis and artificial neural network methods to make house price estimation. In the study of Ecer (2014), the artificial neural network method and hedonic regression method were compared in forecasting housing prices in Turkey. The sales prices of the houses in the central districts of Eskişehir were estimated using the artificial neural network method by Yilmazel et al. (2018). In the study of Yılmaz and Tosun (2020), feed-forward artificial neural networks were used for forecasting housing demands in Antalya province.

If the studies with hybrid models are mentioned; Temür et al. (2019) proposed a method using a combination of ARIMA and long-short-term memory (LSTM) artificial neural network methods for the forecasting of home sales.

Fuzzy inference systems are systems that work based on fuzzy sets; they have a structure consisting of fuzzification, rule base determination, and defuzzification stages. It is known that the most important problem of fuzzy inference systems is the rule base determination process. This is the most important problem of the use of fuzzy inference systems such as adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) proposed by Jang (1993), Mamdani and Assilian (1975), and Takagi and Sugeno (1985).

Unlike many other fuzzy inference systems, the Type 1 fuzzy regression functions (T1FRF) approach proposed by Turksen (2008) is a fuzzy inference system method that does not depend on the rule base and has a simpler structure than many fuzzy inference systems.

The T1FRF method has been frequently used in forecasting problems. Aladag et al. (2014) analyzed the Australian beer consumption data set with the T1FRF method and compared the performance of the T1FRF method with some forecasting methods. Goudarzi et al. (2016) proposed a novel interactively recurrent fuzzy functions for nonlinear chaotic time series prediction Aladag et al. (2016) proposed a fuzzy time series forecasting method based on the fuzzy function approach that uses binary particle swarm optimization to determine the lagged variables of the system. Baser and Demirhan (2017) estimated the yearly mean daily horizontal global solar radiation by using an approach that utilizes fuzzy regression functions with a support vector machine. Tak (2018) proposed the meta fuzzy functions approach to aggregate the methods which are proposed for the same purpose. Dalar and Egrioglu (2018) proposed a new forecasting method that uses fuzzy c-means techniques for clustering T1FRF approach for fuzzy system modelling, and a subsampling bootstrap method for

probabilistic inference. Chakravarty et al. (2020) proposed fuzzy regression functions with a noise cluster and compared it with artificial neural networks and support vector machines. Tak (2020a) proposed a novel forecasting approach by combining the T1FRF with the autoregressive moving average model based on a grey wolf optimizer. Pehlivan and Turksen (2020) proposed a multiplicative fuzzy regression function based on a new multiplicative fuzzy clustering algorithm. Tak (2020b) proposed a forecasting method based on T1FRF that employs a possibilistic fuzzy clustering method. Bas and Egrioglu (2022) proposed a T1FRF method that uses the Gustafson-Kessel clustering algorithm instead of the FCM algorithm. Egrioglu and Fildes (2022) proposed a recurrent fuzzy time series function method and its bootstrapped version for forecasting. Tak and İnan (2022) proposed a forecasting method based on T1FFs that employs elastic-net. Chakravarty et al. (2022) proposed a new modified fuzzy regression function that is used against outliers. Chakravarty et al. (2022) proposed a T1FRF for wind speed estimation and compared it with deep neural networks and support vector machine methods.

While relations are established between input and output in the structure of many fuzzy inference systems, in the T1FRF, fuzzy functions corresponding to each fuzzy set are obtained by using multiple regression analysis. In addition to the original inputs of the system in the T1FRF approach; membership values obtained by the fuzzy clustering method and some nonlinear transformations of these membership values are added to the system as an additional input. Thus, more data entry is provided to the system during the application of multiple regression analysis. Although more data input is provided to the system, there is a significant linear relationship between the explanatory variables in the multiple regression method used to obtain fuzzy functions, and this causes the multicollinearity problem. Such a situation causes the variance of the estimators to increase and to obtain inconsistent estimation results.

To eliminate this problem, Bas et al. (2019) proposed Type 1 fuzzy regression functions approach based on ridge regression (RBT1FRF). While classical regression analysis is used to obtain fuzzy functions in the T1FRF method, the ridge regression technique is used instead of classical regression analysis in the RBT1FRF approach proposed by Bas et al. (2019). Although the RBT1FRF approach has been used in many forecasting problems in the literature, it has not yet been used for the forecasting of house sales to foreigners. In this paper, the RBT1FRF approach is used for the first time for forecasting house sales to foreigners.

Under the title of materials and methods, which is the second part of the study, the fuzzy c-means method, ridge regression, multicollinearity, and RBT1FRF method are introduced. Under the title of findings and discussion, which is the third part of the study, the results obtained from the forecasting of house sales to foreigners with the RBT1FRF approach and the analysis results obtained

from many methods in the literature are evaluated. Finally, conclusions and recommendations are given in the fourth part of the study.

## 2. Materials and Methods

Materials and methods used in this paper; fuzzy c means method, multicollinearity problem, and RBT1FRF approach.

### 2.1. Fuzzy c Means Method

The fuzzy c-means method (FCM), proposed by Bezdek (1981), is a clustering method used to minimize an objective function based on the positions of the cluster centres through iteration. The difference and advantage of the FCM method from the classical clustering method are that it captures the uncertainty encountered when describing real-life data. In the application of the FCM method, first of all, the number of clusters is determined by the researcher. Then, a random membership matrix is generated and cluster centres are obtained as much as the number of fuzzy clusters. Membership values are updated according to the cluster centres, and the algorithm is terminated until the maximum number of iterations is reached or when the variation of the coefficients between the two iterations is not more than  $\varepsilon$ .

The objective function and constraints used for FCM are given in Equations (1) and (2).

$$J(X, \mu, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{it}^f d^2(x_k, v_i) \quad (1)$$

$$0 \leq \mu_{ik} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$0 < \sum_{k=1}^n \mu_{ik} \leq n$$

In these Equations,  $f$  is the fuzziness index,  $d(x_t, v_i)$  is a measure of similarity between the data and the cluster center.  $c$ ,  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, c$ ) and  $\mu_{ik}$  ( $i = 1, 2, \dots, c$ ;  $k = 1, 2, \dots, n$ ) show the number of fuzzy clusters, cluster centres, and membership values, respectively. At each iteration,  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, c$ ) and  $\mu_{ik}$  ( $i = 1, 2, \dots, c$ ;  $k = 1, 2, \dots, n$ ) are updated by Equations (3) and (4).

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^f x_k}{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^f}, \quad i = 1, 2, \dots, c \quad (3)$$

$$\mu_{ik} = \left[ \sum_{j=1}^c \left( \frac{d(x_k, v_i)}{d(x_k, v_j)} \right)^{\frac{2}{f-1}} \right]^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, c; \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

## 2.2. Multicollinearity problem

The multicollinearity problem is one of the most important problems in regression analysis. The multicollinearity problem is a problem that occurs when an independent variable is highly correlated with one or more of the other independent variables in a multiple regression model. When the independent variables are highly correlated, a change in one variable causes a change in the other variable or variables and therefore the model results are significantly affected. An independent variable that is very highly correlated with one or more independent variables will have a relatively large standard error. In such a case, the statistical significance of an independent variable weakens.

One of the popular methods to check for multicollinearity is to use the Variance Inflation Factor (VIF) for each independent variable. An independent variable with a VIF greater than 10 is generally considered to have a high correlation with other independent variables. The VIF value is obtained by Equation (5).

$$VIF_j = \frac{1}{(1-R_j^2)} ; j = 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

In Equation (5),  $R_j^2$  is the coefficient of determination obtained from the multiple regression of  $X_j$  on the remaining  $(p - 1)$  regression variables in the model.

## 2.3. Fuzzy regression functions approach based on ridge regression

The T1FRF approach, proposed by Turksen (2008), is a fuzzy inference system method that stands out with its easy applicability, simple structure, and superior forecasting performance, unlike many well-known fuzzy inference systems in the literature. There is a multicollinearity problem, which is a problem that causes the regression model to produce unreliable results, among the explanatory variables that make up the input data set used in the structure of the regression analysis used to obtain these fuzzy functions.

To eliminate the multicollinearity problem of the T1FRF approach, Bas et al. (2019) proposed the RBT1FRF method. In the RBT1FRF method proposed by Bas et al (2019), unlike the T1FRF method, the ridge regression technique is used as a method of estimating the coefficients of multiple regression models. In addition, it is also concluded that the forecasting performance of the T1FRF method also increased with the use of this technique. The algorithm of the RBT1FRF approach is given step by step with the algorithm below.



Algorithm: RBT1FRF approach

Step 1. In this first step, the data set is first divided into two training and test sets, the number of lags ( $m$ ) and the number of fuzzy sets ( $c$ ) are determined by the researcher.

Step 2. By constructing a matrix consisting of inputs and outputs of the system, clustering is done with FCM, and membership values ( $u_{ik}, i = 1, 2, \dots, c; k = 1, 2, \dots, n$ ) are obtained. Here  $n$  represents the length of the training set.

Step 3. Cluster centres are reduced by eliminating the component corresponding to the output and re-membership values are obtained.

Step 4. Normalized membership values ( $\mu$ ) are obtained by Equation (6) and (7) by resetting membership values that are sufficiently small according to the alpha cut-off ( $\alpha$ ) value.

$$\gamma_{ik} = \begin{cases} u_{ik} & u_{ik} > \alpha \\ 0 & u_{ik} \leq \alpha \end{cases} \tag{6}$$

$$\mu_{ik} = \gamma_{ik} / \sum_{i=1}^c \gamma_{ik} \tag{7}$$

Step 5. The inputs and outputs of the system are created as given in Equations (8) and (9), respectively.

$$X^{(i)} = \begin{bmatrix} \mu_{i1} & \mu_{i1}^2 & \exp(\mu_{i1}) & \ln((1 - \mu_{i1})/\mu_{i1}) & x_{11} & \dots & x_{p1} \\ \mu_{i2} & \mu_{i2}^2 & \exp(\mu_{i2}) & \ln((1 - \mu_{i2})/\mu_{i2}) & x_{12} & \dots & x_{p2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{in} & \mu_{in}^2 & \exp(\mu_{in}) & \ln((1 - \mu_{in})/\mu_{in}) & x_{1n} & \dots & x_{pm} \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$Y^{(i)} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \tag{9}$$

Step 6. Estimate the fuzzy regression functions.

The fuzzy regression functions for each fuzzy set are estimated by Equations (10) and (11).

$$\hat{\beta}_R^{(i)} = (X^{(i)'} X^{(i)} + kI)^{-1} X^{(i)'} Y^{(i)} \tag{10}$$

$$\hat{Y}^{(i)} = X^{(i)} \hat{\beta}_R^{(i)}; i = 1, 2, \dots, c \tag{11}$$

In Equation (10),  $k$  is the shrinkage parameter proposed by Hoerl and Kennard (1976) given by Equation (12).

$$k = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\beta}'\beta} \tag{12}$$

Step 7. The outputs from the fuzzy regression functions are weighted with the corresponding membership values, and the final forecasts of the training set are obtained by using Equation (13).

$$\hat{y}_k = \frac{\sum_{i=1}^c \hat{y}_{ik} \mu_{ik}}{\sum_{i=1}^c \mu_{ik}}, i = 1, 2, \dots, c, k = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Step 8. In obtaining the outputs for the test set, the  $X^{(i)}$  and  $Y^{(i)}$  matrices are updated considering the test set, and Steps 2-7 are repeated to obtain the outputs for the test set.

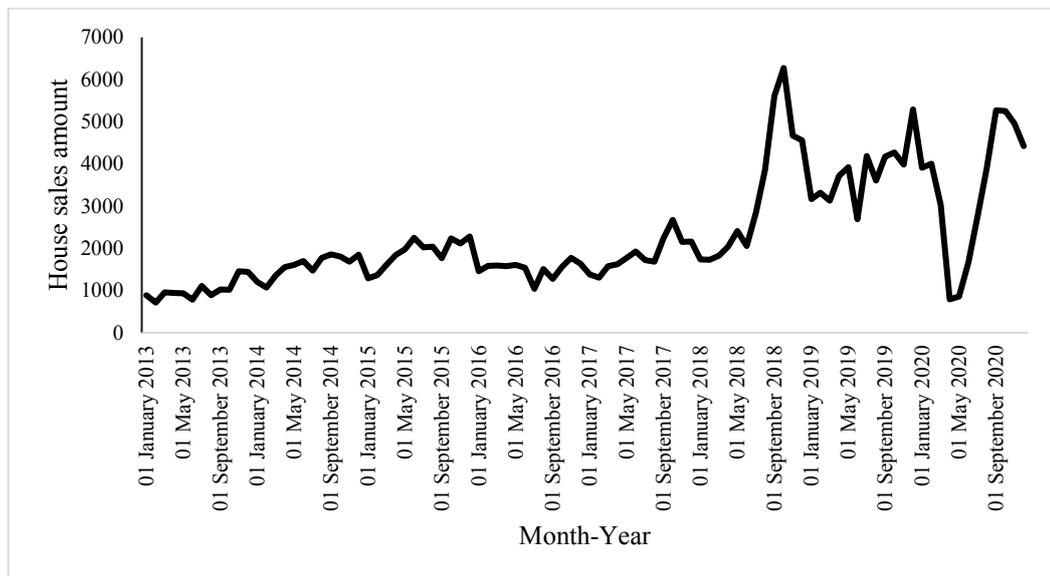
### 3. Findings and Discussion

In this paper, the analysis performance of the time series of the monthly house sales to foreigners (MHSF) obtained between the years 2013 and 2020, whose graph is given in Figure 1, is carried out with the RBT1FRF approach. In the analysis phase, the number of inputs of the relevant time series is changed between one and twelve, and the number of fuzzy sets is changed between three and ten. In the analysis of the MHSF time series, the test set length ( $n_{test}$ ) is taken as 6.

In the comparison of the methods used in the analysis of the MHSF time series, the Root Mean Squared Error (RMSE) criteria given by Equation (14) and the mean absolute percent error (MAPE) criteria given by Equation (15) are used.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right| \quad (14)$$

$$MAPE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}} \quad (15)$$



**Figure 1.** Time series graph of the number of monthly house sales to foreigners between the years 2013 and 2020

MHSF time series is compared with artificial bee colony based Pi-Sigma artificial neural networks (PS-ANN-ABC), T1FRF approach proposed by Turksen (2008), Chen (1996), feed-forward

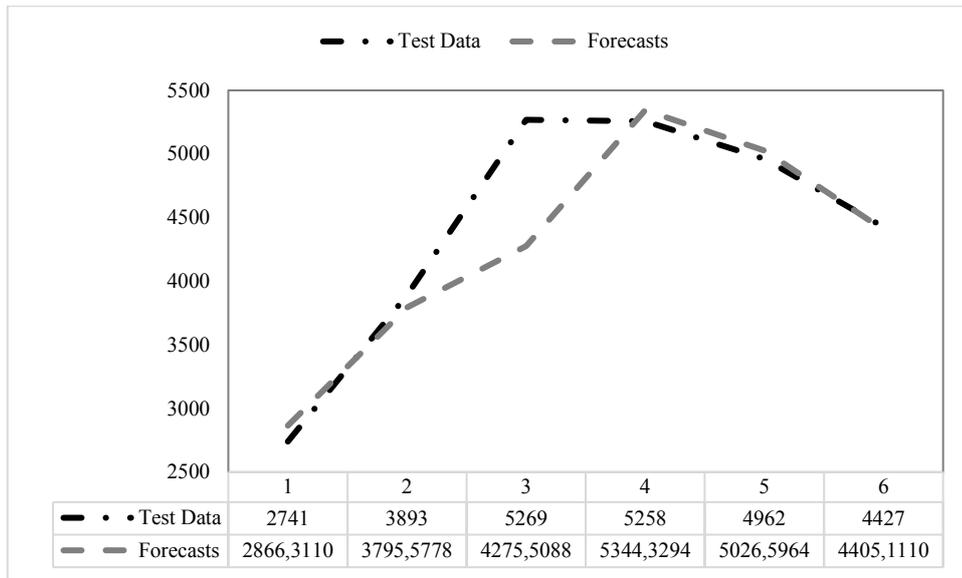
artificial neural networks based on PSO (FF-ANN-PSO), linear and nonlinear artificial neural networks (L&NL-ANN) proposed by Yolcu et al. (2013), fuzzy time series network (FTS-N) proposed by Bas et al. (2015), recurrent multiplicative neuron model artificial neural networks (R-SNM-ANN) proposed by Egrioglu et al. (2015), Median-Pi artificial neural networks (MP-ANN) proposed by Egrioglu et al. (2019), and Pi-Sigma artificial neural networks (PS-ANN-DEA) based on the differential evolution algorithm proposed by Yılmaz et al. (2021) except the RBT1FRF approach. The number of iterations is also taken as 100 in all methods.

For the case where the test set length of the MHSF time series is 6, the RMSE and MAPE values obtained from each method are given in Table 1. Besides, for the case where the test set length of the MHSF time series is 6, the number of inputs is taken as 5, and the number of fuzzy sets is 3.

**Table 1.** Analysis results of MHSF test data (ntest=6).

<b>Methods</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAPE</b>
PS-ANN-ABC	1262.0202	0.2535
FF-ANN-PSO	1144.3797	0.2368
Chen (1996)	1044.0725	0.2236
R-SNM-ANN	996.8693	0.1977
PS-ANN-DEA	984.0740	0.2125
FTS-N	945.2879	0.2005
MP-ANN	915.2914	0.1988
L&NL-ANN	742.5282	0.1453
T1FRF	467.5143	0.0987
RBT1FRF	413.1833	0.0489

When Table 1 is examined, it can be seen that when the test set length is 6, according to the analysis results of the MHSF time series, the RMSE and MAPE values obtained with the RBT1FRF method are superior to those of other methods. With the RBT1FRF method, lower RMSE and lower MAPE values are obtained compared to other methods. In addition, the graph of the forecasts obtained by the RBT1FRF method and the observations of the test set is given in Figure 2 for the case where the test set length is 6.



**Figure 2.** Graph of the forecasts obtained by the RBT1FRF method and the test set of the MHSF time series (ntest=6)

Now, let's decide whether the RBT1FRF and T1FRF methods have a multicollinearity problem or not, according to the VIF values. In the case where the test set length is 6, the results of the VIF values obtained from the RBT1FRF and T1FRF methods for the time series of MHSF are given in Table 2.

**Table 2.** Comparison of the VIF values obtained from the RBT1FRF and T1FRF methods for the MHSF time series when ntest=6

VIF Values	
T1FRF	RBT1FRF
764.34998	2.8350378
564.30137	6.2598414
507.02626	5.013496
745.43836	2.4291137
4.09E-08	4.08E-08
6.81E-08	6.78E-08
7.77E-08	7.77E-08
7.59E-08	7.59E-08
5.13E-08	5.13E-08

When Table 2 is examined, it is seen that the T1FRF method has a multicollinearity problem, since some VIF values are greater than 10. For the RBT1FRF method, it is seen that there is no multicollinearity problem since all VIF values are less than 10.

#### 4. Conclusions and Recommendations

It is observed that the policies implemented by the countries regarding the purchase and sale of housing have undergone significant changes in recent years, especially within the framework of the practices that encourage the purchase of housing by foreigners. In this context, the forecasts of housing sales to foreigners in countries have gained importance.

In this paper, for the first time in the literature, monthly house sales to foreigners were estimated with the RBT1FRF approach, and the forecasting performance of the RBT1FRF approach was compared with many well-known forecasting methods in the literature. The analysis results show that the RBT1FRF approach produces better forecasting results than other methods. However, with the RBT1FRF approach, which is used for forecasting monthly house sales to foreigners, the multicollinearity problem of the classical T1FRF approach was avoided and it was concluded that the forecasting performance was increased.

For future studies, the RBT1FRF approach can also be used to forecast house sales to foreigners in different countries.

#### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

#### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

#### References

- Aktürk, E., and Tekman, N. (2016). Konut talebi ve Erzurum kent merkezinde tüketicilerin konut edinme kararlarını etkileyen faktörler. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(2), 423-440.
- Aladag, C.H., Turksen, I.B., Dalar, A.Z., Egrioglu, E., Yolcu, U. (2014). Application of Type 1 fuzzy functions approach for time series forecasting. *Turkish J. Syst.*, 5(1), 1-9.
- Aladag, C.H., Yolcu, U., Egrioglu, E., Turksen, I.B. (2016). Type-1 fuzzy time series function method based on binary particle swarm optimisation. *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*, 8(1), 02-13.
- Bas, E., Egrioglu, E. (2022). A fuzzy regression functions approach based on Gustafson-Kessel clustering algorithm. *Information Sciences*, 592, 206-214.

- Bas, E., Egrioglu, E., Aladag, C. H., and Yolcu, U. (2015). Fuzzy-time-series network used to forecast linear and nonlinear time series. *Applied Intelligence*, 43(2), 343-355.
- Bas, E., Egrioglu, E., Yolcu, U., and Grosan, C. (2019). Type 1 fuzzy function approach based on ridge regression for forecasting. *Granular Computing*, 4(4), 629-637.
- Baser, F., Demirhan, H. (2017). A fuzzy regression with support vector machine approach to the estimation of horizontal global solar radiation. *Energy* 123, 229-240.
- Bayar, F. (2008). Küreselleşme kavramı ve küreselleşme sürecinde Türkiye. *Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi*, 32, 25-34.
- Bezdek, J. C., Coray, C., Gunderson, R., and Watson, J. (1981). Detection and characterization of cluster substructure i. linear structure: Fuzzy c-lines. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 40(2), 339-357.
- Chakravarty, S., Demirhan, H., Baser, F. (2020). Fuzzy regression functions with a noise cluster and the impact of outliers on mainstream machine learning methods in the regression setting. *Applied Soft Computing Journal*, 96, art. no. 106535.
- Chakravarty, S., Demirhan, H., Baser, F. (2022). Modified fuzzy regression functions with a noise cluster against outlier contamination. *Expert Systems with Applications*, 205, art. no. 117717.
- Chakravarty, S., Demirhan, H., Baser, F. (2022). Robust wind speed estimation with modified fuzzy regression functions with a noise cluster. *Energy Conversion and Management* 266, art. no. 115815.
- Chen, S. M. (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy sets and Systems*, 81(3), 311-319.
- Dalar, A.Z. Egrioglu, E. (2018). Bootstrap type-1 fuzzy functions approach for time series forecasting. *in: Trends and Perspectives in Linear Statistical Inference*, Springer, 69–87.
- Ecer, F. (2014). Türkiye’deki konut fiyatlarının tahmininde hedonik regresyon yöntemi ile yapay sinir ağlarının karşılaştırılması. In International Conference on Eurasian Economies 1-10.
- Egrioglu, E., Fildes, R., Bas, E. (2022). Recurrent fuzzy time series functions approaches for forecasting. *Granular Computing*, 7(1), 163-170.
- Egrioglu, E., Yolcu, U., Aladag, C. H., and Bas, E. (2015). Recurrent multiplicative neuron model artificial neural network for non-linear time series forecasting. *Neural Processing Letters*, 41(2), 249-258.
- Egrioglu, E., Yolcu, U., and Bas, E. (2019). Intuitionistic high-order fuzzy time series forecasting method based on pi-sigma artificial neural networks trained by artificial bee colony. *Granular Computing*, 4(4), 639-654.
- Goudarzi, S., Khodabakhshi, M.B., Moradi, M.H. (2016). Interactively recurrent fuzzy functions with multi objective learning and its application to chaotic time series prediction. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(2), 1157-1168.
- Hoerl, A. E., and Kennard, R. W. (1976). Ridge regression iterative estimation of the biasing parameter. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 5(1), 77-88.
- Jang, J. S. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Lebe, F., and Akbaş, Y. (2014). Türkiye’nin konut talebinin analizi: 1970-2011. *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 28(1), 57-83.
- Mamdani, E. H., and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- Nghiep, N., and Al, C. (2001). Predicting housing value: A comparison of multiple regression analysis and artificial neural networks. *Journal of Real Estate Research*, 22(3), 313-336.
- Özaktaş, F. D. (2019). Yabancılar konut satışı ve reel efektif döviz kuru: Türkiye örneği ampirik çalışma. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 15(1), 131-147.
- Öztürk, N., and Fitöz, E. (2009). Türkiye’de konut piyasasının belirleyicileri: Ampirik bir uygulama. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 5(10), 21-46.
- Pehlivan, N.Y., Turksen, I.B. (2021). A novel multiplicative fuzzy regression function with a multiplicative fuzzy clustering algorithm. *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 24(1), 79-98.
- Tak, N. (2018). Meta fuzzy functions: Application of recurrent type-1 fuzzy functions. *Applied Soft Computing*, 73, 1-13.
- Tak, N. (2020). Grey wolf optimizer based recurrent fuzzy regression functions for financial datasets. *Öneri Dergisi*, 15(54), 350-366.
- Tak, N. (2020). Type-1 possibilistic fuzzy forecasting functions. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 370, 112653.
- Tak, N., İnan, D. (2022). Type-1 fuzzy forecasting functions with elastic net regularization. *Expert Systems with Applications*, 199, 116916.

- Takagi, T., and Sugeno M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1, 116-132.
- Temür, A. S., Akgün, M., and Temür, G. (2019). Predicting housing sales in Turkey using ARIMA, LSTM and hybrid models. *Journal of Business Economics and Management*, 20(5), 920-938.
- Türkşen, I. B. (2008). Fuzzy functions with LSE. *Applied Soft Computing*, 8(3), 1178-1188.
- Uysal, D., and Yiğit, M. (2016). Türkiye’de konut talebinin belirleyicileri (1970-2015): Ampirik bir çalışma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 19(1), 185-209.
- Yılmaz, H., and Tosun, Ö. (2020). Aylık konut satışlarının modellenmesi ve Antalya örneği. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(21), 141-158.
- Yılmaz, O., Bas, E., and Egrioglu, E. (2021). The training of pi-sigma artificial neural networks with differential evolution algorithm for forecasting. *Computational Economics*, 1-13.
- Yılmazel, Ö., Afşar, A., and Yılmazel, S. (2018). Konut fiyat tahmininde yapay sinir ağı yönteminin kullanılması. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (20), 285-300.
- Yolcu, U., Egrioglu, E., and Aladag, C. H. (2013). A new linear & nonlinear artificial neural network model for time series forecasting. *Decision Support Systems*, 54(3), 1340-1347.
- Zainun, N. Y. B., Rahman, I. A., and Eftekhari, M. (2010). Forecasting low-cost housing demand in Johor Bahru, Malaysia using artificial neural networks (ANN). *Journal of Mathematics Research*, 2(1), 14-19.

## Determination of Trace Elements, Heavy Metals Content, and Free Radical Scavenging Activity of the Pigments Extracted of *Donax trunculus* shells Gathered from Giresun Coast

Ayşegül ÇEBİ<sup>1</sup>, E. Gülçeri GÜLEÇ PEKER<sup>2\*</sup>, İspandiyar RUSTEMZADA<sup>3</sup>, Elif Neyran SOYLU<sup>4</sup>

### Abstract

The study aimed to determine free radical scavenging activity, trace elements, and the heavy metals contents of the pigments extracted from *Donax trunculus* shells obtained at the Giresun the Black Sea coast. Free radical scavenging activity was determined by spectrophotometric DPPH and ABTS methods. Heavy metal and trace elements of the pigments were measured by ICP-MS. Pigments scavenged DPPH and ABTS radicals. On the other hand, it determined that the pigments had rich trace element concentrations (Fe 90.78± 0.01 mg/kg; Cr 71.63±0.01; mg/kg, Mn 40.46±0.01 mg/kg; Zn 5.13±0.01 mg/kg; Cu 3.69±0.01 mg/kg; Se 1.22±0.01 mg/kg). Heavy metal content was within acceptable limits (Ni 4.28±0.03 mg/kg; Co 0.67±0.02 mg/kg; Pb 0.69±0.01 mg/kg; Cd 0.388±0.01 mg/kg; As 0.284±0.02 mg/kg). These results suggested that *D. trunculus* shells, considered food waste, would be a new bio-resource for obtaining natural antioxidants and micronutrients.

**Keywords:** Seashell, heavy metal, trace elements, free radical scavenging activity.

## Giresun Sahilinden Toplanan *Donax trunculus* Kabuklarından Elde Edilen Pigmentlerin İz Element, Ağır Metal İçeriği ve Serbest Radikal Giderme Aktivitelerinin Belirlenmesi

### Öz

Bu çalışma, Giresun'un Karadeniz kıyılarından toplanmış *Donax trunculus* kabuklarından elde edilen pigmentlerin serbest radikal temizleme aktivitesini, eser element ve ağır metal içeriklerini belirlemeyi amaçladı. Serbest radikal temizleme aktivitesi, spektrofotometrik DPPH ve ABTS yöntemleri ile belirlendi. Pigmentlerin ağır metal ve eser element içerikleri ICP-MS ile ölçüldü. Pigmentler DPPH ve ABTS radikallerini temizledi. Öte yandan pigmentlerin zengin eser element konsantrasyonlarına sahip olduğu belirlendi (Fe 90.78± 0.01 mg/kg; Cr 71.63±0.01; mg/kg, Mn 40.46±0.01 mg/kg; Zn 5.13±0.01 mg/kg; Cu 3.69±0.01 mg/kg; Se 1.22±0.01 mg/kg). Ağır metal içeriği kabul edilebilir sınırlar içindeydi (Ni 4.28±0.03 mg/kg; Co 0.67±0.02 mg/kg; Pb 0.69±0.01 mg/kg; Cd 0.388±0.01 mg/kg; As 0.284±0.02 mg/kg). Bu sonuçlar, gıda atığı olarak kabul edilen *D. trunculus* kabuklarının, doğal antioksidanlar ve mikro besinler elde etmek için yeni bir biyolojik kaynak olacağını sergilemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz kabuğu, ağır metal, eser elementler, serbest radikal giderme aktivitesi.

<sup>1</sup> Giresun University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Giresun, Turkey, aysegul.cebi@giresun.edu.tr

<sup>2</sup> Giresun University, Faculty of Health Sciences, Giresun, Turkey, gulceri.peker@giresun.edu.tr

<sup>3</sup> Giresun University, Institute of Health Sciences, Giresun, Turkey, irsustamzada@gmail.com

<sup>4</sup> Giresun University, Faculty of Science and Art, Giresun, Turkey, elif.neyran,soylu@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3804-7966>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7244-0281>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-0597-1514>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-7583-3416>



## 1. Introduction

The existence of polluting agents in aquatic environments has been incremented in recent years. Studies on aquatic organisms gain importance in the assessment of aquatic pollution together with traditional water analysis (Zamani-Ahmadmahmoodi et al., 2020). Marine bivalves are known to be filter feeders that bioaccumulate various pollutants in the aquatic environment. Because of this, marine bivalves are considered an important bioindicator in pollution studies (Abdel-Latif et al., 2020). Within bivalves, the clam *Donax trunculus* is among the most gathered in species in many countries, including in Turkey. *D. trunculus* spreads out an Atlantic–Mediterranean warm-temperate exposed sandy beaches (Künili et al., 2021). The studies on *D. trunculus* gain importance due to consume as food. The shell of *D. trunculus* has a smooth surface, and its color is either yellowish or light brown. Inside the shell, there is the coloration of blue-purple or brownish and orange depending on the territory and its pigments (Aydın et al., 2020). The marine bivalves accumulate certain substances in various body parts, especially by filtering the water in their habitat and ingesting some organic molecules. The marine bivalves have easily absorbed heavy metals dissolved in aquatic environments in ion or compound forms. After absorption, the toxic metals could have bound to the essential macromolecules of the cells and affect cell functions (Strehse and Maser, 2020). Free radicals are destructive molecules that break down the cell in the organism and cause undesirable effects. Free radicals can occur when living things are exposed to heavy metals. Antioxidants are molecules that eliminate free radicals formed as a result of metabolic reactions in living things. Antioxidant systems in aquatic organisms are low molecular weight ones such as glutathione (GSH), ascorbic acid, and carotenoids (Lauritano and Ianora, 2020). Deficiency or excess of some trace elements such as selenium, copper, zinc affects antioxidant systems (Le Saux et al., 2020).

The marine bivalves have been evaluated as a good bioindicator in determining heavy metals, trace elements, antioxidants and toxic substances concentration in many parts of the world due to various studies. In previous studies generally carried out on shells and the soft tissues of *D. trunculus*. However, there is no study on the pigments extracted from the shells found in the literature. This study evaluated the availability of dumped and unused *D. trunculus* shells. We studied the antioxidant property of pigments extracted from shells and the toxic and trace elements contents of these pigments in the present research.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Extraction of pigments of Seashells

*D. trunculus* shells were washed with a stream of cold water and air-dried at 4 °C for 2 days in the dark. The dried shells were grounded and then dissolved by gradually adding 6 M HCl and then the pigments were extracted with diethyl ether. The ether layer was washed with 5% NaCl until the acid was almost removed. The ether solution including the pigments was dried over anhydrous sodium sulfate and the solvent was evaporated under reduced pressure. The extract including the pigments was again dissolved in ethanol and stored at - 30°C in the dark. Then, the pigment solution was ready to be used (Kuwahara et al., 2009).

### 2.2. DPPH (1,1-Diphenyl 2-Picryl Hydrazil) Free Radical Scavenger Activity Measurement

DPPH Radical Scavenger Activity measurement was done according to the method of Brand-Williams et al. (1995). 1 mL of 10<sup>-3</sup> M DPPH ethanol solution was taken, 3 mL of extract solution was added and shaken by the vortex. It was kept in the dark for 30 minutes, and absorbance was read at 517 nm. BHT and Trolox were used as standard antioxidants. The DPPH radical scavenging activity, expressed as percent inhibition of the reaction, was calculated using the following formula.

$$\text{Inhibition \%} = [Ac - As / Ac] \times 100$$

Ac: Absorbance of control (without antioxidant)

As: Absorbance of sample (with antioxidant)

Antioxidant concentrations (IC<sub>50</sub>), which caused 50% inhibition, were read from the graph drawn with the % Inhibition values calculated against the antioxidant concentrations.

### 2.3. Determination of Total Antioxidant Status

Total antioxidant status (TAS) was evaluated based on the conversion of the dark blue-green coloured 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) radical cation (ABTS\*+) into the colourless reduced ABTS form of the antioxidants in the sample (Re et al., 1999). The TAS level of the sample is related to the change in absorbance at 660 nm. For calibration, (±)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox Equivalent), a vitamin E analogue, was used. Results are expressed as mmol Trolox Equiv/L.

Two reagents were prepared for the measurement.

0.4 M pH:5.8 acetate buffer was prepared for Reagent 1.

For Reagent 2, acetate buffer with 30 mM pH:3.6 was first prepared. Then, using this buffer, a 2mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution was prepared. Reagent 2 with a final ABTS concentration of 10 mmol/L was prepared using the last prepared solution. The previously described method for TAS was applied to the ARCHITECT c8000 (Abbott, Abbott Park, Illinois, U.S.A.) clinical chemistry auto-analyzer as shown below:

Mode: Endpoint (descending)

Reagent 1 volume: 160  $\mu$ L

Reagent 2 volume: 25  $\mu$ L

Sample volume: 10  $\mu$ L

Primary wavelength ( $\lambda$ ): 660 nm

Secondary wavelength ( $\lambda$ ): 476 nm

Reading points: 31-33

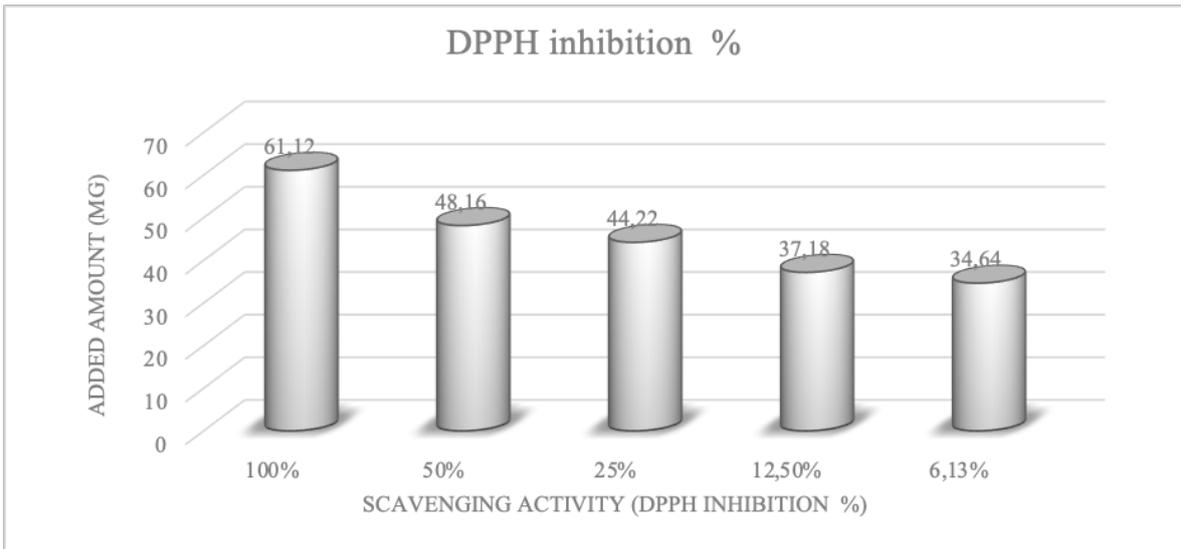
Standard (Trolox Equivalent) concentration value: 1.0 mmol/L Trolox

#### 2.4. Heavy Metal and Trace Elements Measurements

To determine the samples' toxic and trace elements contents, a microwave digestion procedure and solubilization of the samples were chosen and performed with nitric acid in GRUMLAB. The samples were then allowed to cool and made ready for ICP-MS (Bruker 820-MS) by filtration with distilled water. The toxic and trace elements were determined with ICP-MS in GRUMLAB, concentrations were calculated based on the standards.

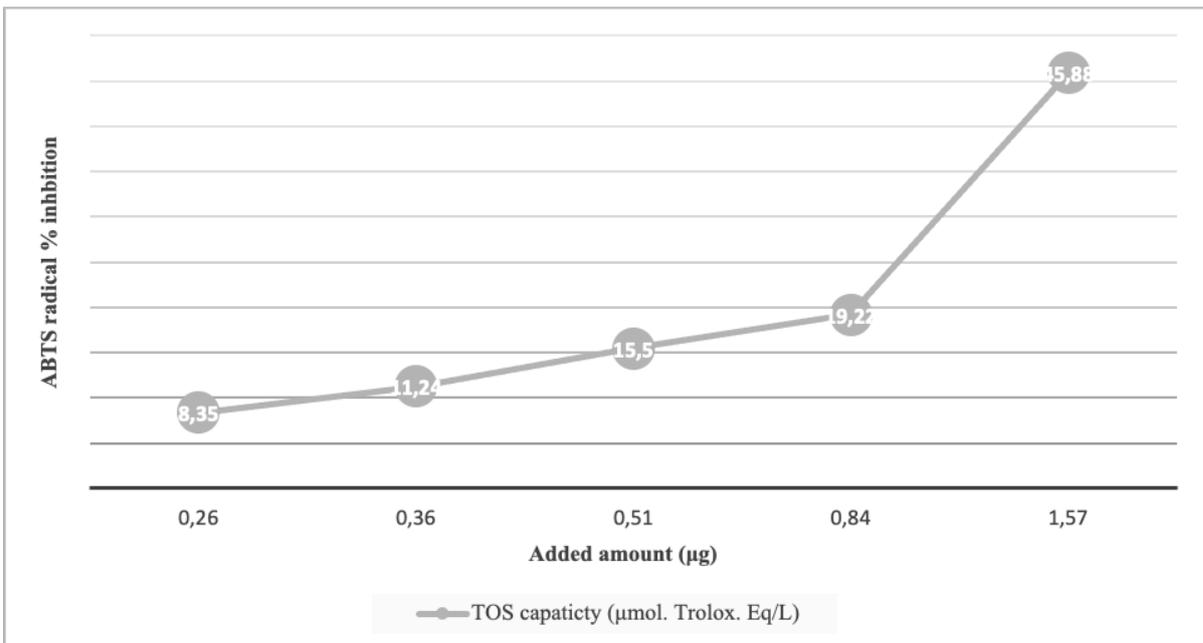
### 3. Results

Figure 1 shows the DPPH radical scavenging activity of pigments of *D. trunculus* shells. The pigments exhibited DPPH scavenging activity (%), and its potency increased almost linearly with an increasing amount of pigments. Figure 2 shows the total antioxidant status (TOS, %) of pigments. TOS capacity increased with increasing the added amounts of pigments.



**Figure 1.** DPPH radical scavenging activity of pigments of *D. trunculus* shells

Table 1 shows the trace and toxic element contents measured by ICP-MS. According to the results, the trace element found in the highest amount in pigments was iron (Fe). In addition, the amounts of chromium (Cr), manganese (Mn) and aluminum (Al) elements were found to be high levels. Other trace element amounts of the pigment extracts were determined as zinc (Zn), copper (Cu), and selenium (Se), from the highest to the lowest concentration, respectively.



**Figure 2.** The total antioxidant status (TOS, %) of pigments of *D. trunculus* shells

The element with the highest concentration among toxic heavy metals was determined as nickel (Ni). On the other hand, the toxic metal contents were determined as, in order from highest to lowest, are lead (Pb), cobalt (Co), cadmium (Cd), and arsenic (As).

**Table 1.** The trace and toxic element contents of pigments of *D. trunculus* shells

	Analyte	Amount (mg/kg)
Trace elements	Fe	90.788±0.017
	Cr	71.631±0.016
	Mn	40.469±0.017
	Al	27.315±0.006
	Zn	5.137±0.006
	Cu	3.695±0.016
	Se	1.222±0.005
Toxic elements	Ni	4.028±0.034
	Co	0.675±0.002
	Pb	0.695±0.002
	Cd	0.388 ±0.0002
	As	0.284±0.002

#### 4. Discussion

Exposure to free radicals is known to cause biological toxicity like lipid peroxidation as well as food deterioration. To impair these harmful effects, antioxidants have been utilized as food supplements and additives. Nowadays, for the reason that some synthetic antioxidants such as BHA are opined of owning carcinogenic effects, effective natural antioxidant substances such as carotenoids, herbal polyphenols, catechins, and alpha-tocopherol are preferred (Liu and Mabury, 2020). Trace elements, such as chromium, zinc, manganese, copper, cobalt, selenium, and iron, are critical in cell metabolism. The oxidant or antioxidant function of these metals also affects the organism (Gudioncik et al., 2014). Trace metal concentrations in aquatic organisms are highly variable according to intervals of place and time (Roussiez et al., 2013). It is known that heavy metals have toxic effects and change some physiological and biochemical processes of the cell by affecting cellular components such as the membranes. Heavy metals are regarded as the most important pattern of pollution in the aquatic environment due to their toxicity and easily accumulated by marine organisms (Pontoni et al., 2021). In the present study, we evaluated trace elements, heavy metals

content, and some antioxidant properties of the pigments extracted from *D. trunculus* shells, discarded without further application.

The pigments from *D. trunculus* shells showed antioxidant activity against DPPH and ABTS radicals. We also found that the scavenging activities of the pigments increased for both DPPH and ABTS radicals as the amount of pigment added to the experimental medium increased. To our knowledge, no study has been carried out on the antioxidant status of pigments obtained from *D. trunculus* shells. On the other hand, in Kuwahara and colleagues' study, the free radical scavenging activity of pigments obtained from purple sea urchin (*Anthocidaris crassispina*) has been investigated. (Kuwahara et al., 2009). They showed that the pigments had significant activity to scavenge hydrogen peroxide and superoxide anion radicals.

Minerals with a daily requirement of less than 100 mg are called microminerals. They are also called trace elements because their concentrations in the body are very low. Insufficient intake of these elements causes dysfunction. On the other hand, elements that are not essential for the body's structure and functions are known as non-essential or toxic elements (Strain and Cashman, 2009). Exposure to toxic elements, such as lead, nickel, cadmium, and cobalt can result in several pathological conditions like toxicity, impaired reproductive function, kidney damage, hepatic dysfunction, and cancers (Buha et al., 2021). On the other hand, the metals such as iron, copper, zinc, magnesium, chromium, selenium, and manganese are essential nutrients required for various biochemical and physiological functions (Godswill et al., 2020). Insufficient intake of these trace elements results in various pathological conditions. According to the results of this study, the amounts of toxic elements in pigment extracts were within acceptable limits, and other trace elements were found in satisfactory amounts (EFSA, 2009; EFSA, 2021). Therefore, it can be said that the aquatic environment in which the *D. trunculus* lives is less polluted or that there is no significant accumulation in the shells, even if there is environmental pollution. Because of their rich antioxidants and trace elements, pigments obtained from *D. trunculus* shells could be used as a significant source of natural antioxidants and trace elements to promote their economic value.

The pigments extracted from *D. trunculus* shells were analyzed for antioxidant properties. The pigments had significant activity to scavenge DPPH and ABTS radicals. Therefore, these pigments may suppress the formation of its related active oxygen radical species. In addition, the pigments had a rich content of micronutrient metals. These results suggested that *D. trunculus* shells, considered as food waste, could be a new bio-source of natural antioxidants and trace elements.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Abdel-Latif, H. M., Dawood, M. A., Menanteau-Ledouble, S., & El-Matbouli, M. (2020). Environmental transformation of n-TiO<sub>2</sub> in the aquatic systems and their ecotoxicity in bivalve mollusks: A systematic review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200, 110776. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110776>.
- Aydin, M., Tunca, E., & Ersoy, N. E. (2020). Morphometric aspects and growth parameters of the wedge clam (*Donax trunculus*) of the Black Sea, Turkey. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(1), 11-18. doi: 10.35229/jaes.637729 %U 10.35229/jaes.637729
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Buha, A., Baralić, K., Djukic-Cosic, D., Bulat, Z., Tinkov, A., Panieri, E., & Saso, L. (2021). The role of toxic metals and metalloids in nrf2 signaling. *Antioxidants*, 10(5), 630. <https://doi.org/10.3390/antiox10050630>
- Godswill, A. G., Somtochukwu, I. V., Ikechukwu, A. O., & Kate, E. C. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*, 3(1), 1-32. <https://doi.org/10.47604/ijf.1024>
- Gudjoncic, A., Guenancia, C., Zeller, M., Cottin, Y., Vergely, C., & Rochette, L. (2014). Iron, oxidative stress, and redox signaling in the cardiovascular system. *Molecular nutrition & food research*, 58(8), 1721-1738. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400036>
- Kuwahara, R., Hatate, H., Yuki, T., Murata, H., Tanaka, R., & Hama, Y. (2009). Antioxidant property of polyhydroxylated naphthoquinone pigments from shells of purple sea urchin *Anthocardaris crassispira*. *LWT-Food Science and Technology*, 42(7), 1296-1300. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.020>.
- Künili, İ. E., Çolakoğlu, S., & Çolakoğlu, F. (2021). Levels of PAHs, PCBs, and toxic metals in *Ruditapes philippinarum* and *Donax trunculus* in Marmara Sea, Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(3), 1167-1173. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10728>
- Lauritano, C., & Ianora, A. (2020). Chemical defense in marine organisms. *Marine Drugs*, 18(10), 518. <https://doi.org/10.3390/md18100518>
- Le Saux, A., David, E., Betoulle, S., Bultelle, F., Rocher, B., Barjhoux, I., & Cosio, C. (2020). New insights into cellular impacts of metals in aquatic animals. *Environments*, 7(6), 46. <https://doi.org/10.3390/environments7060046>
- Liu, R., & Mabury, S. A. (2020). Synthetic phenolic antioxidants: A review of environmental occurrence, fate, human exposure, and toxicity. *Environmental science & technology*, 54(19), 11706-11719. doi: 10.1021/acs.est.0c05077
- Pontoni, L., La Vecchia, C., Boguta, P., Sirakov, M., D'Aniello, E., Fabbicino, M., & Locascio, A. (2021). Natural organic matter controls metal speciation and toxicity for marine organisms: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01310-y>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.

Roussiez, V., Probst, A., & Probst, J. L. (2013). Significance of floods in metal dynamics and export in a small agricultural catchment. *Journal of hydrology*, 499, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.013>.

Strain, J. S., & Cashman, K. D. (2009). Minerals and trace elements. *Introduction to human nutrition*, 188.

Strehse, J. S., & Maser, E. (2020). Marine bivalves as bioindicators for environmental pollutants with focus on dumped munitions in the sea: A review. *Marine environmental research*, 158, 105006. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105006>.

Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Malekabadi, M. B., Rahimi, R., & Johari, S. A. (2020). Aquatic pollution caused by mercury, lead, and cadmium affects cell growth and pigment content of marine microalga, *Nannochloropsis oculata*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8222-5>.

URL-1. [https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa\\_rep/blobserver\\_assets/ndatolerableuil.pdf](https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa_rep/blobserver_assets/ndatolerableuil.pdf)  
(Date Accessed:17.05.2022).

URL-2. <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/metals-contaminants-food> (Date Accessed:17.05.2022).



## Topology Optimization of Freight Wagon Chassis Under Multi Loading Conditions

Emre GÖRGÜN<sup>1\*</sup>

### Abstract

In this study, planning performance values in a freight wagon chassis geometry are discussed. Container-carrying type chassis were preferred as freight wagons, topology optimization, 2020 simulation, was used for the traditional freight wagon for the optimization add-on. 1023 steel material was chosen as the material for the FEA analysis. Within the safety limits required for freight wagons, the traditional freight wagon has been lightened by 14.51 percent. Although the freight wagon was lighter, it gave uniform results in the load distribution, thus reducing the manufacturing costs of a standard freight wagon. The legal load limitations in railway management have been brought to the sum of the wagon weight and the load. Weight improvements in the tare of any freight car mean more loads can be carried. With this study, it has been observed that a conventional freight wagon chassis has a positive effect not only on manufacturing costs but also on operating costs

**Keywords:** *Finite element analysis, Freight car chassis, Steel, Materials.*

## Çoklu Yükleme Koşulları Altında Yük Vagonu Şasisinin Topoloji Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada bir yük vagonu şasi geometrisinde planlama performans değerleri ele alınmıştır. Yük vagonu olarak konteyner taşınabilen tipte şasiler tercih edilmiştir. optimizasyon metodu olarak topoloji optimizasyonu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar (FEA) analizi için malzeme olarak 1023 çelik malzeme tercih edilmiştir. Yük vagonları için gerekli güvenlik limitleri dahilinde çalışma sonucunda geleneksel yük vagonunu %14,51 hafifletilmiştir. Yük vagonu daha hafif olmasına rağmen yük dağılımında da düzenli sonuçlar elde edilmiştir böylece standart bir yük vagonunun imalat maliyetleri düşürülmüştür. Demiryolu işletmeciliğinde yasal yük sınırlamaları vagon ağırlığı ve yükün toplamına kadardır. Herhangi bir yük vagonunun darasındaki ağırlık iyileştirmeleri daha fazla yük taşınabileceği anlamına gelmektedir. Bu çalışma ile geleneksel bir yük vagonu şasisinin yalnızca imalat maliyetleri değil işletme maliyetlerine olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

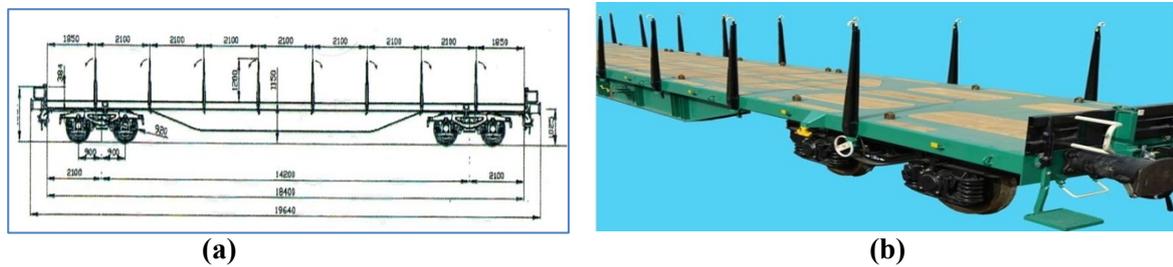
**Keywords:** *Sonlu elemanlar, Analiz, Yük vagonu şasisi, Çelik, Malzeme.*

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Sivas, Türkiye, emregorgun@cumhuriyet.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1971-456X>

## 1. Introduction

Railways and freight wagons play an important role in freight transportation. Freight wagons are divided into various classes according to the type of manufacture and the load they carry. Among the freight wagons, the most used ones are the freight wagons that can carry containers. The ability to transport containers by land, sea and rail has made container transportation preferable in international trade. When designing container type freight wagons, they may differ according to the dimensions of the container they will carry and the loading situation. When designing freight wagons, they can be designed to carry only containers or, as seen in Figure 1, they can be designed to carry both containers and block loads such as marble.



**Figure 1. (a) RGNS Freight wagon drawing. (b) Image of RGNS Freight wagon.**

A designer must consider many parameters when designing a freight car. The designer should primarily design within the dimensions determined by the standards, this is important for the trains to work in harmony. The amount of cargo to be carried by the freight wagon and the type of cargo are other important parameters. The weight of the chassis of the freight wagon is a situation that concerns the operation. There are restrictions on the weight of the freight car and the size of the cargo you will be carrying. The lightness of a wagon reduces its cost and increases the amount of cargo it will carry.

Both manufacturing and operating costs directly affect the weight of the wagon. There are basically two ways to make a wagon lighter, the first is to change the material selection and the second is to optimize the design (Figure 2).

The RGNS wagon is a freight wagon, and the meanings of the letters on the RGNS wagon are as follows, respectively; the letter “R” indicates that the wagon is a normal type bogie platform wagon, “G” and “N” indicates specifies the characteristics of the wagons designed according to the type and characteristics of the load, “S” indicates that the wagon is suitable for speed of 100km/h. and bogies are cars that make the wagons move.

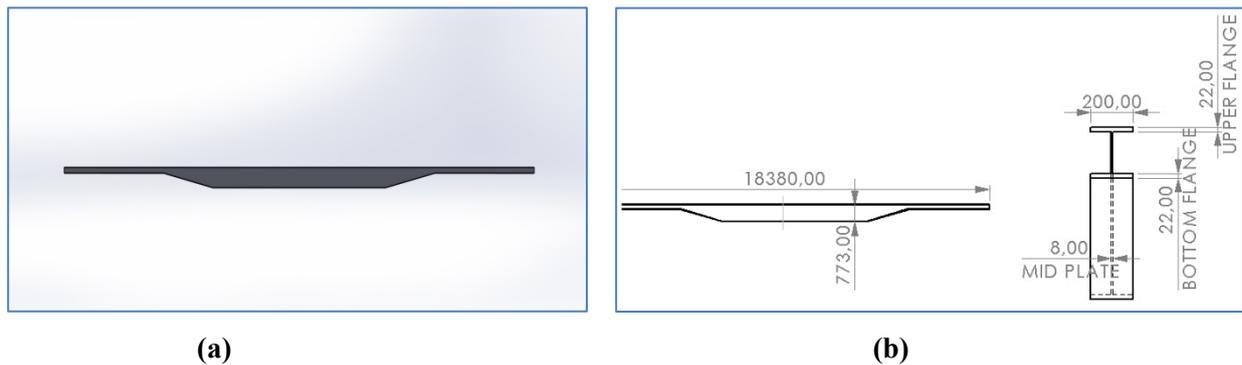
This study is important in terms of showing that the safety factors are very high in the railway industry. With the development of steel manufacturing technologies, the amount of unpredictable

defects in steel has decreased considerably. Our study is important in terms of showing the advantages of optimization studies and lightweight designs with lower safety numbers to freight wagon management. Our study is innovative in terms of showing the advantages of optimization studies and lightweight designs with lower safety numbers to freight wagon management. With the increase in optimization studies, it is thought that conventional wagon designs will be replaced by modern designs.

## 2. Materials and Methods

In this study, RGNS type freight wagon chassis, which can carry both containers and block loads such as marble, was used as the freight wagon chassis (Pugliesi et al., 2011). Two of the beams shown in Figure 2 are used in RGNS wagons. Freight wagon chassis, the skeleton is generally made of structural steel (Karagöz et al., 2020). As freight wagon material, S235 and S355 carbon steel are the most preferred materials (Shinde et al., 2017). Dimensions may vary depending on the type of wagon. There are many factors that affect freight car design (Ramos et al., 2018). These factors are the loading weight, the operating speed of the wagon, and the type of load. Some considerations need to keep in mind for the analysis of a freight wagon in Solidworks. Firstly, freight wagon dimensions for analysis are of the type of RGNS freight wagon.

Freight wagon chassis dimensions must be well-defined (Holmberg et al., 1998). Also, the factor of safety should be in limits (Baek et al., 2008).



**Figure 2.** (a) RGNS Freight wagon chassis model. (b) RGNS Freight wagon chassis dimensions.

### 2.1. Modeling freight car chassis in Solidworks

An assembly image consisting of product parts was created with the Solidworks software. Fae analysis can be performed with Solidworks software. (Kovalev et al., 2009). The development of freight wagons and fae analysis can be done on Solidworks software. (Bojović, 2002). While creating

the model, it started with a base metal drawing of 8 mm thickness and 18380 mm length. The upper and lower flanges are attached to the 22 mm thick and 200 mm wide middle plate (Table 1). The model command can be used to create a copy around the center plate. These models are also used for the FEA of the freight car chassis.

**Table 1.** Freight car chassis dimensions taken in Solidworks.

The length of the Freight car chassis	18380 mm.
The thickness of middle plate	8 mm.
The thickness of upper plate x width of upper plate	22 mm. x 200mm.
The thickness of bottom plate x width of bottom plate	22 m. x 200mm.

## 2.2. Materials properties

1023 steel is carbon steel. This steel contains a low amount of carbon in its structure. It is a very suitable material for welding. It is frequently used in building elements, especially due to its compatibility with welding. In this study, 1023 steel was preferred in terms of the preference of low carbon steels in the manufacture of railway parts. 1023 steel is often used is material of rolling stock in railway industry. Mechanical properties of 1023 steel are given in Table 2.

**Table 2.** Material properties.

Material	Yield Strength (MPa)	Density, (gr/cm <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio	Tensile strength (MPa)
1023 Carbon Steel	282	7.3	0.29	425

## 3. Methodology

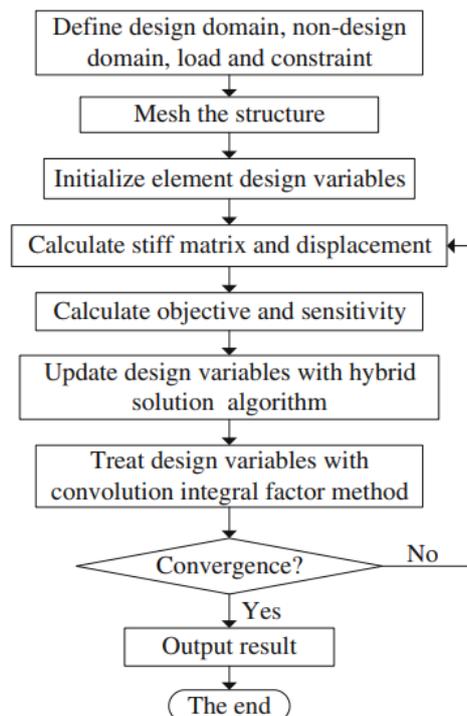
### 3.1 Meshed model

In order to obtain good results, it is very important to create a high quality mesh in finite element analysis. Depending on the complexity of the structure, the networking task is often the most time-consuming task in the workflow (Kumar et al., 2021). Determining mesh size is one of the most common problems in finite element analysis (Stein et al., 2004). The smaller the items, the longer the computation time (Zhou et al., 2016). It is unlikely to know where the selected mesh size is in this row. However, by using the mesh convergence method to determine the correct mesh size in your finite element analysis, choosing the right mesh size and what mesh size analysis results are acceptable can be learned. Solidworks makes networking easy. A mesh of 3D 4 node tetrahedral

elements is created. Each node has 6 DOFs. This can be accomplished by clicking the mesh icon in the simulation tree and selecting create mesh from the context menu (Escobar et al., 2011).

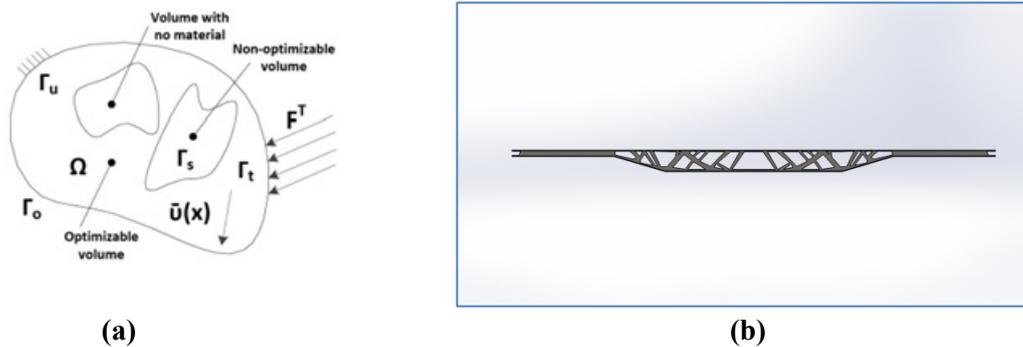
### 3.2. Topology Optimization

Target and constraint parameters determined as the best stiffness for the weight and the protected zone, the thickness control, the demoulding direction and the plane of symmetry determined in the manufacturing control parameters is so important for optimization. (Cazacu et al., 2014). Loading and structure response to it is very slow with respect to time, there exist no vibration, materials are isotropic and aerodynamic resistance is negligible (Kazakis et al., 2017). For optimization, the freight wagon simulation should be imported as 3d into Solidworks. (Sigmund, 1994). Knowing the correct value of a material property is essential for better efficiency of the analysis. The freight wagon chassis may be made up of different materials but for this study, 1023 carbon steel material was used. Using finite element analysis, it was investigated how much the freight wagon could be lightened without deteriorating its rigidity (Challis et al., 2010). Meshing method and boundary conditions are described further and boundary condition and loads are carefully applied in Solidworks. The flow chart showing the working principle of topology optimization is shown in Figure 3.



**Figure 3.** Flow chart of topology optimization

The main question here is how to distribute material volume into domain  $\Omega$  in order to minimize a specific criterion. The usually most used criterion is the compliance  $C$ . Density values  $x$  (distributed over the domain  $\Omega$ ) are used to control the distribution of the material volume in the domain. It is controlled by design parameters that are represented by the densities  $x$  assigned to the finite element (FE) discretization of domain  $\Omega$  is given Figure 4. The densities  $x$  take values in the range (0–1), where zero means no material in the specific point (s) (Slavov et al., 2019).



**Figure 4.** (a) Generalized shape design problem of finding the optimal material distribution in the 3D domain, and (b) Topology optimization part

A topology management optimization problem can be written in the general form as equations (1), (2), (3) and (4) (Kazakis et al., 2017).

$$\text{minimize } x \quad C(x) = F^T \cdot \bar{u}(x) \tag{1}$$

$$\text{subject to :} \quad \frac{V(x)}{V_0} = f \tag{2}$$

$$F = K(x) \cdot \bar{u}(x) \tag{3}$$

$$0 < x_{min} \leq x \leq 1. \tag{4}$$

#### 4. Findings and Discussion

Run the simulation study and wait patiently for Solidworks solver to complete the analysis (Kumar et al., 2021). The desired result will be obtained on the work screen. The red area obtained shows the maximum value and dark blue is the lowest value of a parameters. The design, analysis and optimization of the chassis of the RGNS type freight wagons were carried out using Solidworks 2020. Overall dimensions remained the same. This study was carried out to reduce the weight of the chassis of the freight wagon within the safety limits. It was aimed to increase the load carrying capacity by reducing the weight of the freight wagon and to reduce the operating and manufacturing costs. As shown in Table 3. For the purposes of this study, a new design with a weight of 14.51, a

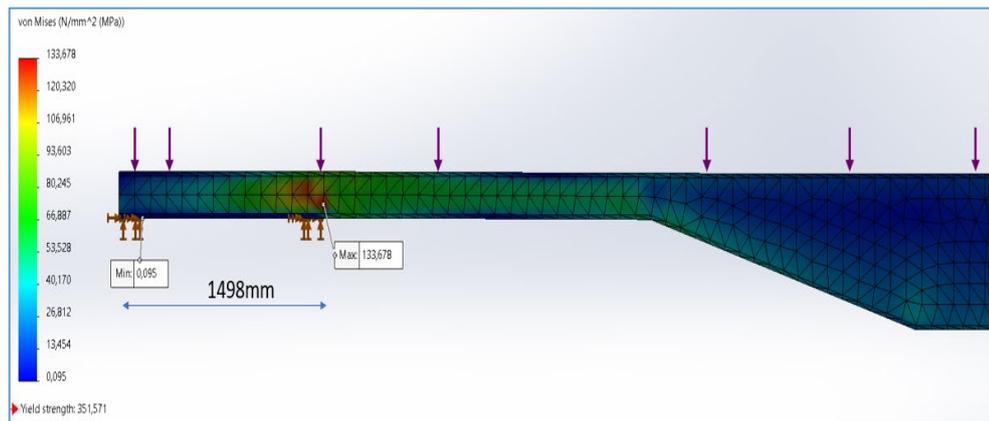
volume of 14.51 and a surface area of 24.12 less than the freight wagon was created within the safety limits. The safety factor of the freight wagon, whose weight has been reduced by 14.51%, is 1.5. The fact that the safety factor is acceptable for a railway vehicle means that this design can be used in operation.

**Table 3.** Result of changes parameters of freight car chassis

	Freight car chassis - Standard	Freight car chassis - Optimized	Percent Change (%)
Mass (gr)	231522.19	197916.39	14.51
Volume (mm <sup>3</sup> )	231522191.51	197916386.16	14.51
Surface area (mm <sup>2</sup> )	33381565.81	25328515.33	24.12

#### 4.1 Deformation and optimization results

These are the obtained deformation and optimization plots after running the study in Solidworks (Vardaan et al., 2022). It is observed in Figure 5 that maximum static stress of conventional chassis of 133.678 MPa. It is observed in Figure 6 that maximum static stress of optimized chassis of 187.41 MPa. It is observed in Figure 7 that maximum static displacement of optimized chassis of 15.112 mm. It is observed in Figure 8 that maximum static displacement of conventional chassis of 13.353 mm. It is observed in Figure 9 that minimum factor of safety of optimized chassis of 1.876. It is observed in Figure 10 that minimum factor of safety of conventional chassis of 2.630.



**Figure 5.** Static stress of conventional chassis

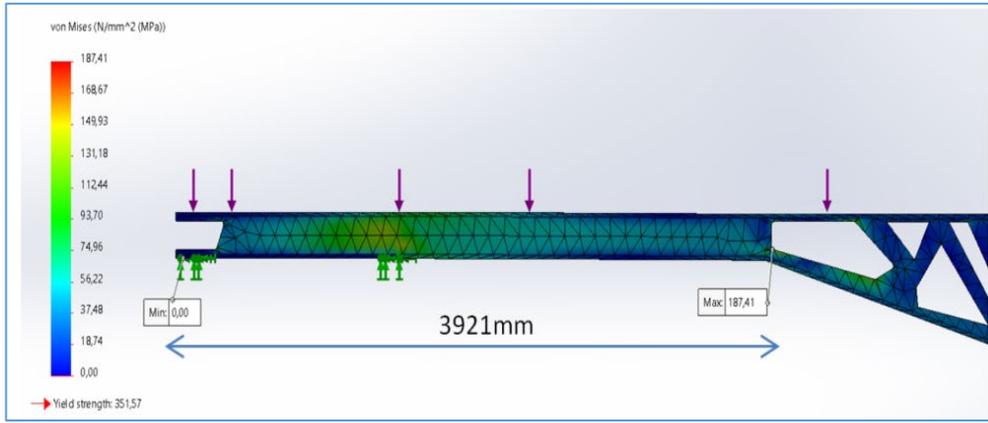


Figure 6. Static stress of optimized chassis

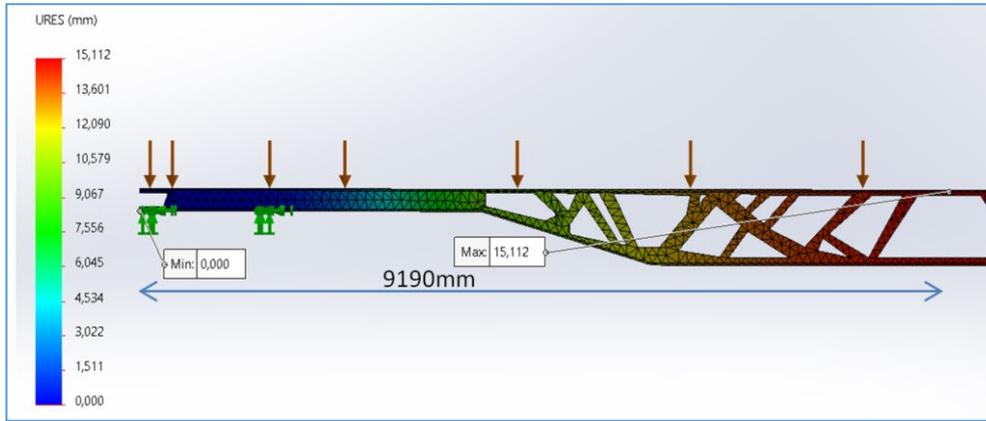


Figure 7. Static displacement of optimized chassis

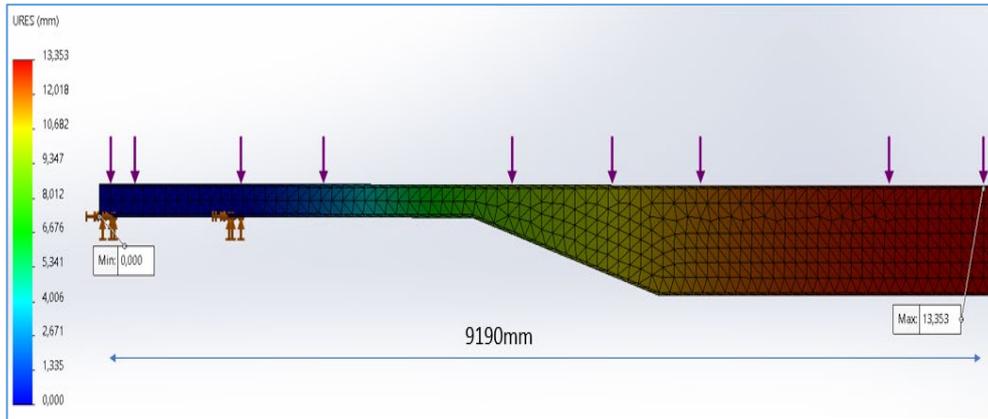


Figure 8. Static displacement of conventional chassis

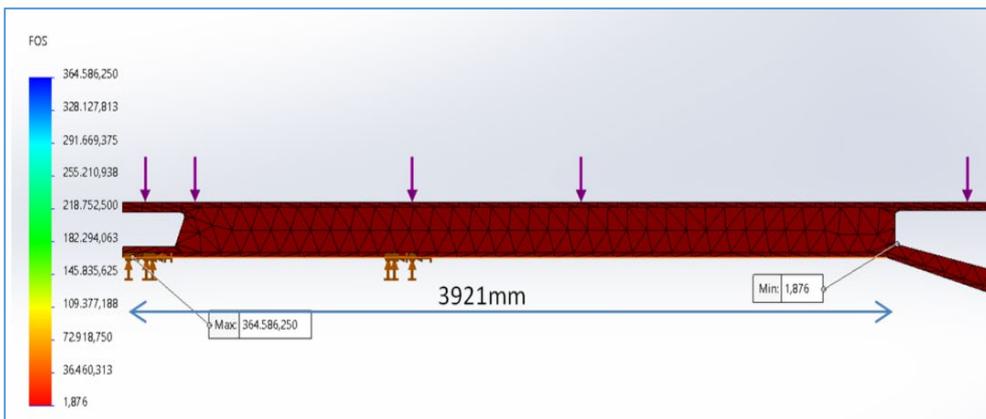


Figure 9. Factor of safety of optimized chassis



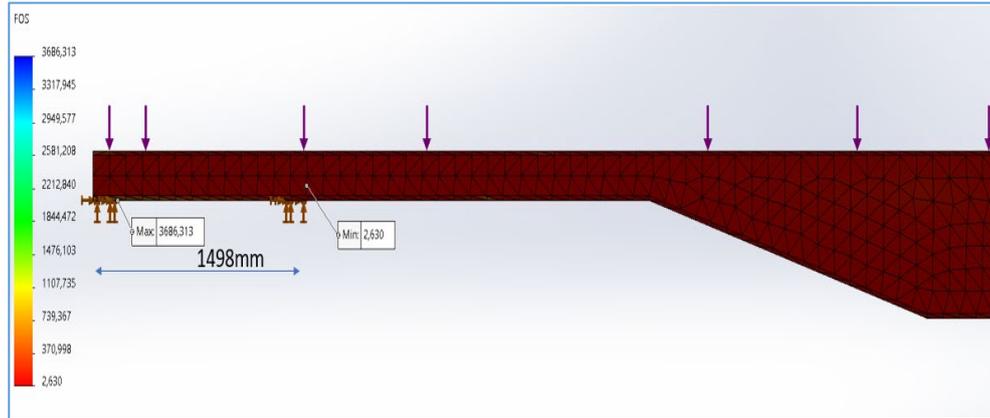


Figure 10. Factor of safety of conventional chassis

Two chassis were compared under normal loading conditions. Methods static stress, static displacement and factor of safety were chosen as comparison parameters. Despite the reduction in weight of the optimized wagon, it was found to be within the safety limits.

4.2 Deformation and optimization plots

FEA analysis results of optimized and conventional boxcar beams are compared on graphs. As shown in Figure 11 following von-mises stress plots, fos plots and typical static displacement plots (URES) plots were obtained after running the simulation study in Solidworks.

As shown in Figure 12 maximum von mises stress conventional(standard) chassis of 133.678 N/mm<sup>2</sup> and optimized chassis of 187.41 N/mm<sup>2</sup> is observed, as shown in Figure 8 maximum typical static displacement plots (URES) of conventional(standard) chassis of 15.112 mm and optimized chassis of 96.43 N/mm<sup>2</sup> is observed and also as shown in Figure 13 minimum factor of safety of conventional(standard) chassis of 2.630 and minimum factor of safety of optimized chassis of 1.876 is observed.

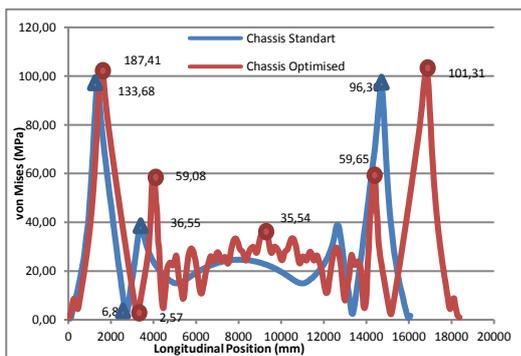


Figure 11. Von mises plot.

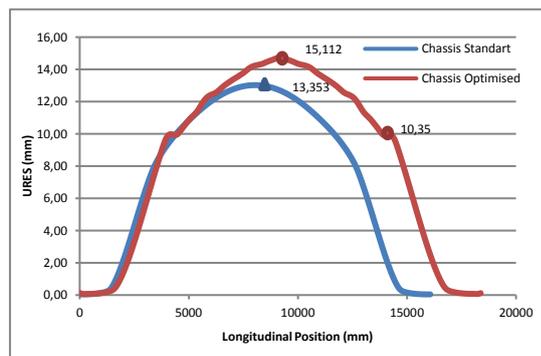
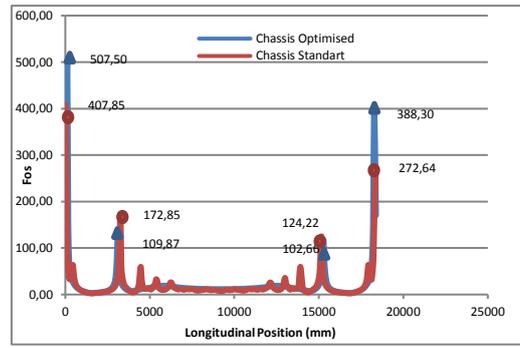


Figure 12. URES plot.



**Figure 13.** Fos plot.

Looking at Figure 11, the changes in the geometry of both wagons created the peak points in the von mises values. In the middle parts of the wagon, it was observed that the values in the optimized wagon chassis were more fluctuating. It was thought that the aforementioned wavy values were related to the chassis geometry formed as a result of optimization. Although the von mises values had fluctuating values in the middle of the chassis, it was observed that they were within the safety limits. For each wagon chassis, there is a stretching margin within certain limits according to the relevant standards. The deflection in question is taken into account when choosing the wagon chassis material. As can be seen in Figure 12, 1.63 mm difference was observed between the URES values of the two-wagon chassis.

## 5. Conclusions and Recommendations

This optimization study means that each freight wagon can carry a load of 14.51, ie 33605 g, for one beam. Considering that two beams are used in a freight wagon, this value is 67210 g. It is obvious that this study will increase with the application of other structural parts of the wagon. It is determined that it is possible to lighten a freight wagon much more within the same safety limits. Thus, it has been seen that it is possible to minimize production methods such as materials, workmanship, welding and cutting. Optimization studies on the wagon chassis are important not only in terms of manufacturing but also in terms of reducing operating costs.

Regulations made in the railway sector impose limitations on the sum of the weight of the wagon chassis and the load it carries. Optimization work on the railway chassis also means that the wagon can carry more cargo.

## Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Baek, S. H., Cho, S. S., & Joo, W. S. (2008). Fatigue life prediction based on the rainflow cycle counting method for the end beam of a freight car bogie. *International Journal of Automotive Technology*, 9(1), 95-101.
- Bojović, N. J. (2002). A general system theory approach to rail freight car fleet sizing. *European Journal of Operational Research*, 136(1), 136-172.
- Cazacu, R., & Grama, L. (2014). Overview of structural topology optimization methods for plane and solid structures. *Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological Engineering*, 23(3), 1583-1591.
- Challis, V. J., Roberts, A. P., Grotowski, J. F., Zhang, L.-C., & Sercombe, T. B. (2010). Prototypes for bone implant scaffolds designed via topology optimization and manufactured by solid freeform fabrication. *Advanced Engineering Materials*, 12(11), 1106-1110.
- Escobar, J. M., Cascón, J. M., Rodríguez, E., & Montenegro, R. (2011). A new approach to solid modeling with trivariate T-splines based on mesh optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 200(45-46), 3210-3222.
- Holmberg, K., Joborn, M., & Lundgren, J. T. (1998). Improved empty freight car distribution. *Transportation Science*, 32(2), 163-173.
- Karagöz, N., & Acar, H. İ. (2020). Dinamik Fren Kullanımının Yük Vagonu Tekerleklerine Gelen Isıl Yüke Etkisinin Gerçek İşletme Şartlarında Deneysel Olarak İncelenmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, 12, 43-51.
- Kazakis, G., Kanellopoulos, I., Sotiropoulos, S., & Lagaros, N. D. (2017). Topology optimization aided structural design: Interpretation, computational aspects and 3D printing. *Heliyon*, 3(10), e00431.
- Kovalev, R., Lysikov, N., Mikheev, G., Pogorelov, D., Simonov, V., Yazykov, V., Zakharov, S., Zharov, I., Goryacheva, I., & Soshenkov, S. (2009). Freight car models and their computer-aided dynamic analysis. *Multibody System Dynamics*, 22(4), 399-423.
- Kumar, M., Jha, A. K., Bhagoria, Y., & Gupta, P. (2021). A review to explore different meshless methods in various Structural problems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1116(1), 012119.
- Kumar, M., Rajiyan, J., & Gupta, P. (2021). A computational approach for solving elasto-statics problems. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6876-6879.
- Pugliesi, E. A., & Decanini, M. M. (2011). Cartographic design of in-car route guidance for color-blind users. *International Cartographic Conference*.
- Ramos, A. P. M., Pugliesi, E. A., Oliveira, R. F. de, Tachibana, V. M., & Decanini, M. M. S. (2018). Evaluation of usability of maps of different scales presented in an in-car route guidance and navigation system. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 24, 383-406.
- Shinde, A., Rawat, K. S., Mahajan, R., Pardeshi, V., & Kamanna, B. (2017). Design and Analysis of Flywheel for Different Geometries and Materials. *Global Journal of Enterprise Information System*, 9(1), 95-99.
- Sigmund, O. (1994). *Design of material structures using topology optimization* [PhD Thesis]. Technical University of Denmark Denmark.
- Slavov, S., & Konsulova-Bakalova, M. (2019). Optimizing weight of housing elements of two-stage reducer by using the topology management optimization capabilities integrated in SOLIDWORKS: A case study. *Machines*, 7(1), 9.

- Stein, K., Tezduyar, T. E., & Benney, R. (2004). Automatic mesh update with the solid-extension mesh moving technique. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 193(21-22), 2019-2032.
- Vardaan, K., & Kumar, P. (2022). Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation. *Materials Today: Proceedings*.
- Zhou, Q., Grinspun, E., Zorin, D., & Jacobson, A. (2016). Mesh arrangements for solid geometry. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 35(4), 1-15.

## *Amata (Syntomis) caspia* (Staudinger, 1877) (Lepidoptera: Erebidae)'nın Dış ve Genital Morfolojisi ile Biyoekolojisi Üzerinde Bazı Gözlemler

Muhammed TATAR<sup>1</sup>, Erol ATAY<sup>2</sup>, Göksel TOZLU<sup>3\*</sup>

### Öz

Iğdır İli Aralık ve Karakoyunlu ilçelerinde karaağaç (*Ulmus minor* Miller) ve çiçekli yabancı otların hakim olduğu habitatlarda 2021 yılı mayıs-aoğustos aylarında *Amata (Syntomis) caspia* (Staudinger, 1877) (Lepidoptera: Erebidae)'nın ergin bireyleri atrap ile yakalanmıştır. Çalışma arazi ve laboratuvar şartlarında yürütülmüştür. Laboratuvara getirilen bireylerin, içerisinde karaağaç yapraklarının bulunduğu desikatörlerde çiftleşip yumurta bırakmaları sağlanmıştır. Ergin bireyler laboratuvarında disekte edilmiş, erkek cinsel organları ve kanat preparatları hazırlanmış, *A. caspia*'ya ait yumurta, larva, pupa ve erginlerin fotoğrafları çekilmiştir. *A. caspia*'nın erkek genital ve dış morfolojisi ayrıntılı olarak tanımlanmış, türün Dünya ve Türkiye'deki yayılışı da verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Amata (Syntomis) caspia*, Erebidae, Dış ve Genital Morfoloji, Kısa Biyoekoloji.

## Some Observations on External and Genital Morphology and Bioecology of *Amata (Syntomis) caspia* (Staudinger, 1877) (Lepidoptera: Erebidae)

### Abstract

Adult individuals of *Amata (Syntomis) caspia* (Staudinger, 1877) (Lepidoptera: Erebidae) were caught with sweep-net in the habitats dominated by elm (*Ulmus minor* Miller) and flowering weeds in Aralık and Karakoyunlu districts of Iğdır province, in May-August 2021. The study was carried out in the field and laboratory conditions. Individuals brought to the laboratory were provided to mate and lay eggs in desiccators containing elm leaves. Adult individuals were dissected in the laboratory, male genitalia and wing preparations were prepared, and photographs of eggs, larvae, pupae and adults of *A. caspia* were taken. The male genital and external morphology of *A. caspia* is described in detail, and the distribution of the species in the world and Türkiye is also given.

**Keywords:** *Amata (Syntomis) caspia*, Erebidae, External and Genital Morphology, Brief bioecology.

<sup>1</sup>Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Sivas, Türkiye, muhammedtatar.28@hotmail.com

<sup>2</sup>Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hatay, Türkiye, eatay@mku.edu.tr

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Erzurum, Türkiye, gtozlu@atauni.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8312-8434>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5274-1025>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-7187-7825>

## 1. Giriş

Insecta sınıfı içerisinde 120'den fazla familyaya bağlı 155.000-160.000 kadar tanımlanmış türü bulunan Lepidoptera (güveler ve kelebekler), dünyadaki en büyük ikinci takım durumundadır (Kristensen ve ark., 2007; Gullan ve Cronston, 2010; van Nieukerken ve ark., 2011). Lepidoptera içerisinde Noctuoidea, yaklaşık 42.400 tanımlanmış tür sayısı ile en büyük üst familyadır (Speidel ve Naumann, 2004; van Nieukerken ve ark., 2011). Erebidae (Lepidoptera: Noctuoidea) ise dünyada 18 alt familyaya bağlı 24.569 tür içeren önemli bir grup durumundadır (van Nieukerken ve ark., 2011). Bu familya türlerinde erginler, vücut şekli, büyüklük ve kanat renklenmeleri bakımından büyük farklılıklar göstermektedirler. Çok farklı habitatlarda bulunan ve birçok bitki türünde fitofag olarak beslenen türleri bulunmaktadır. (Zahiri ve ark., 2011).

Dünyada *Amata* cinsine ait 178 türün bulunduğu kaydedilmektedir (Anonymous, 2021). Türkiye'de ise sadece 19 tür ve alttürün yayılış gösterdiği belirtilmekte olup bu türlerin bilimsel adları ile tespit edildiği iller sırasıyla; *Amata aequipuncta* (Turati, 1917): Adana, Amasya, Hatay, Isparta, İçel, Kars, Kahramanmaraş, Niğde ve Sivas; *A. a. aequipuncta* (Turati, 1917): Adana, Amasya, Hatay, Isparta, İçel, Kars, Kahramanmaraş, Niğde ve Sivas; *A. a. maraschi* (Daniel, 1939): Kahramanmaraş; *A. antiochena* Lederer, 1861: Hatay ve İçel; *A. caspia* (Staudinger, 1877): Kars ve Iğdır; *A. hakkariana* (De Freina, 1982): Kars ve Iğdır; *A. kruegeri* (Ragusa, 1904): Lokalite verilmemiş; *A. phegea* (L., 1758): Kırklareli; *A. rossica* (Turati, 1917): Adana, Ağrı, Amasya, Ankara, Antalya, Artvin, Bolu, Bursa, Erzincan, Giresun, İçel, Kastamonu, Kayseri, Samsun, Sivas, Tokat, Uşak, Kırıkkale, Ardahan ve Iğdır; *A. r. anatolica* (Zerny, 1931): Ağrı, Amasya, Ankara, Artvin, Bolu, Bursa, Erzincan, Giresun, Kastamonu, Kayseri, Samsun, Sivas, Tokat, Kırıkkale ve Iğdır; *A. r. borzhomica* Obraztsov, 1966: Ardahan; *A. r. osthelderi* Obraztsov, 1966: Adana; *A. sintenisi* Standfuss, 1892: Hakkari, Mardin ve Şanlıurfa; *A. s. sintesini* Standfuss, 1892: Hakkari ve Mardin; *A. tanina* (De Freina, 1982): Hakkari; *A. taurica* (Turati, 1917): Hatay; *A. transcaspica* Obraztsov, 1941: Malatya, Sivas ve Bayburt; *A. wiltshirei* Bytinski-Salz, 1939: Hakkari; *A. w. wiltshirei* Bytinski-Salz, 1939: Hakkari'dir (Koçak ve Kemal, 2006).

Bu çalışmada ele alınan *A. caspia* türünün dünyada Çin (Qinghai, Gansu, Xinjiang), Moğolistan, Rusya, Transcaspia, Kazakistan ve Türkiye'de (Ignatyev ve Zolotuhin, 2005; Lu ve ark., 2012; Langourov ve ark., 2019), Türkiye'de ise Kars ve Iğdır illerinde yayılış gösterdiği bildirilmektedir (Koçak ve Kemal, 2009, 2018) (Şekil 1).



**Şekil 1.** *Amata (Syntomis) caspia* (Staudinger, 1877)'nin Türkiye'de yayılış gösterdiği iller (\*: çalışmada tespit edildiği il) (Koçak ve Kemal, 2006; 2009).

Türkiye'de bugüne kadar Lepidoptera'ya bağlı farklı familyalar üzerinde yapılan revizyonlar ile yayılış ve sinonimlerin verildiği kontrol listelerinde *Amata* cinsi türlerinin de isimlerinin verildiği görülmektedir (Koçak ve Kemal., 2006, 2009, 2018). Ayrıca, Hüseyinoğlu (2016), Osmaniye İlinin gündüz ve gece kelebeklerini tespit etmeye yönelik yaptığı çalışmada, 2007 yılında Osmaniye (Küllü)'den bu cinse ait iki türün varlığını da bildirmiştir. *Amata* türlerinin biyoekolojileri üzerinde arazi ve laboratuvar da yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak, yabancı ülkelerde bazı *Amata* türlerinin laboratuvar koşullarında detaylı biyolojileri çalışılmıştır (Venkatesha ve Gopinath, 1992; Venkatesha, 1993; Ming ve ark. 2011; Ajamhasani, 2015). Bu çalışmanın temel amacı, Iğdır ilinde tespit edilen *A. caspia*'nın erkek genital ve dış morfolojisinin ayrıntılı olarak verilmesi, özellikle laboratuvar koşullarında yumurta, larva, pupa ve ergin dönemlerinin elde edilmesi, arazide hangi habitatta bulunduğu ile hangi bitkiler üzerinden elde edildiğinin ortaya konulmasıdır. Ayrıca, ileriki yıllarda bu tür üzerinde yapılacak daha detaylı çalışmalar için önemli altlık oluşturulmuş olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Arazi Çalışmaları

Iğdır ili Aralık ve Karakoyunlu ilçelerinde, 2021 yılı mayıs-ağustos aylarında farklı rakım ve bitki örtüsüne sahip lokalitelerde 15 günlük aralıklarla arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalar uygun hava koşullarında (yağış ve kuvvetli rüzgar olmadan) yapılmış ve sabah erken saatlerde başlayarak gün batımına kadar devam etmiştir. Ağrı Dağı gibi yüksek alanlara göre alçakta ve yıllık ortalama sıcaklığı 11,6 °C olan, konumuyla mikroklima iklimine sahip Iğdır'ın değişik bitki örtüsüne sahip alanlarından atrap ile *A. (Syntomis) caspia* erginleri yakalanmaya çalışılmıştır.

## 2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Toplanan örnekler vücut sularını kaybetmeden laboratuvara getirilmiş ve vücut ölçülerine göre germe tahtalarında uygun boyutlardaki böcek iğneleri ile iğnelenerek ön ve arka kanat çiftleri gerilmiştir. Örnekler kurumaları için oda sıcaklığında karanlık ve kuru bir yerde iki hafta bekletilmişlerdir. On birey üzerinde yapılan çalışmalarda örneklerde morfolojik incelemeler ve ölçümler yapıldıktan sonra türlerin tanımlanması için erkek genital organlar hazırlanmıştır. Kelebeklerin iğnelenmesi, kanatların gerilmesi ve genital organ hazırlıkları Atay (2006)'da tanımlanan yöntemlere göre yapılmıştır. *A. caspia*'nın başlıca taksonomik karakterleri tanımlanmış, fotoğraflanmış ve çizimleri yapılmıştır. Yine, özellikle arazide çiftleşirken yakalanan bazı bireyler laboratuvarında karaağaç yapraklarının bulunduğu desikatör ortamına alınarak yumurta bırakmaları sağlanmış, bunlardan larva ve sonrasında da pupa dönemleri elde edilmiştir. Türün teşhisi 2. yazar tarafından yapılmıştır. Örnekler, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Entomoloji Müzesi (EMET) ile Mustafa Kemal Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde saklanmaktadır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. *Amata (Syntomis) caspia* (Staudinger, 1877)'nin sistematikteki yeri

**Takım:** Lepidoptera

**Familya:** Erebidae

**Alt Familya:** Arctiinae Leach, 1815

**Tribüs:** Syntomini Herrich-Schäffer, 1846

**Cins:** *Amata* Fabricius, 1807

**Cins sinonimleri:** *Glaucopis* Hübneri, 1806; *Amata* Fabricius, 1807; *Syntomis* Ochsenheimer, 1808; *Coenochromia* Hübner, 1819; *Syntoma* Billberg, 1820; *Hydrusa* Walker, 1854; *Asinusca* Wallengren, 1862; *Asinutea* Wallengren, 1863; *Buthysia* Wallengren, 1863; *Buthisia* Walker, 1866; *Synthomis* Mabille, 1892; *Leopoldina* Hering, 1934 (Lu ve ark., 2012).

**Alt Cins:** *Syntomis* Ochsenheimer, 1808



*Amata (Syntomis)caspia* (Staudinger, 1877)

**Türün Sinonimleri:** *Syntomis maracandina* (partim) Erschoff, 1874; *Amata caspia* Staudinger, 1877; *Syntomis caspica* (err. det. & lapsus calami) Romanoff, 1884; *Syntomis maracandina* var. *caspia* (non Staudinger) Alphéraky, 1892; *Syntomis caspica* (Staudinger, partim) Hampson, 1898; *Syntomis minuta* A. Bang-Haas, 1910; *Amata minuta* Hampson, 1915; *Syntomis caspia martinierici* Bryk, 1941; *Amata banghaasi* Obraztsov, 1966; *Amata (Syntomis) minutissima* Obraztsov, 1966; *Syntomis banghaasi schachti* de Freina, 1994 (Lu ve ark., 2012).

### 3.2. İncelenen Materyal

**İğdir: Aralık** (39°51'41" N; 44°31'07" E, 828 m), 17.V.2021, 9♂, 10♀; **İğdir: Karakoyunlu** (39°58'04" N; 44°18'23" E, 828 m), 05.VIII.2021 5♂, 2021 9♀.

Ergin bireyler *Ulmus minor* Miller, *Cynanchum acutum* L. *Glycyrrhiza glabra* L. ve *Xanthium strumarium* L. bitkileri üzerinden elde edilmişlerdir (Şekil 2).



**Şekil 2.** *Amata caspia* erginlerinin üzerinden elde edildiği bitkiler; a) *Ulmus minor* Miller, b) *Cynanchum acutum* L., c) *Glycyrrhiza glabra* L., d) *Xanthium strumarium* L.

### 3.3. Ergin ve ergin öncesi dönemlerin vücut ölçümleri (erkek, dişi) (10 birey üzerinden)

**Erkek vücut uzunluğu (♂):** 14 mm (12-26 mm); **kanat açıklığı,** 29 mm (28-30 mm)

**Dişi vücut uzunluğu (♀):** 13 mm (10-13 mm); **kanat açıklığı** 21 mm (20-23 mm).

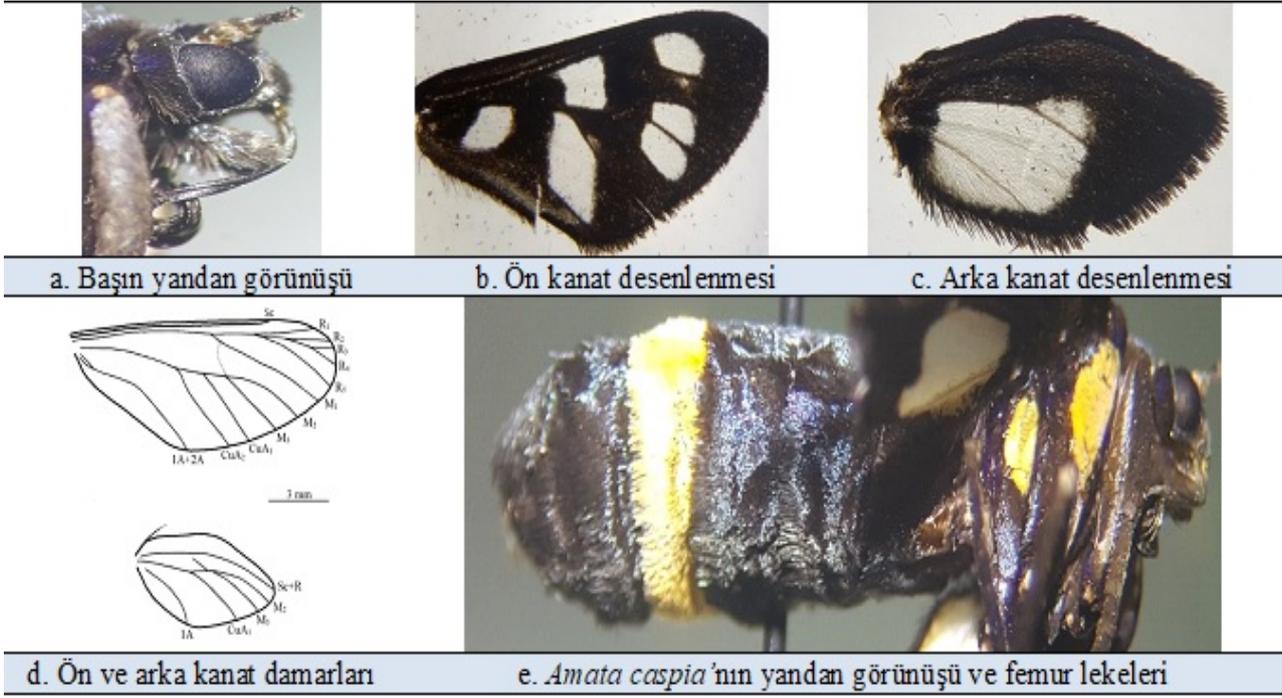
**Birinci dönem larva vücut uzunluğu:** 5,05 mm (4,94-5,17 mm) (Şekil 5g).

**Olgun larva vücut uzunluğu:** 13,65 mm (10,52-16,78 mm) (Şekil 5g).

**Pupa uzunluğu:** 9,62 mm (8,51-10,73 mm) (Şekil 5h).

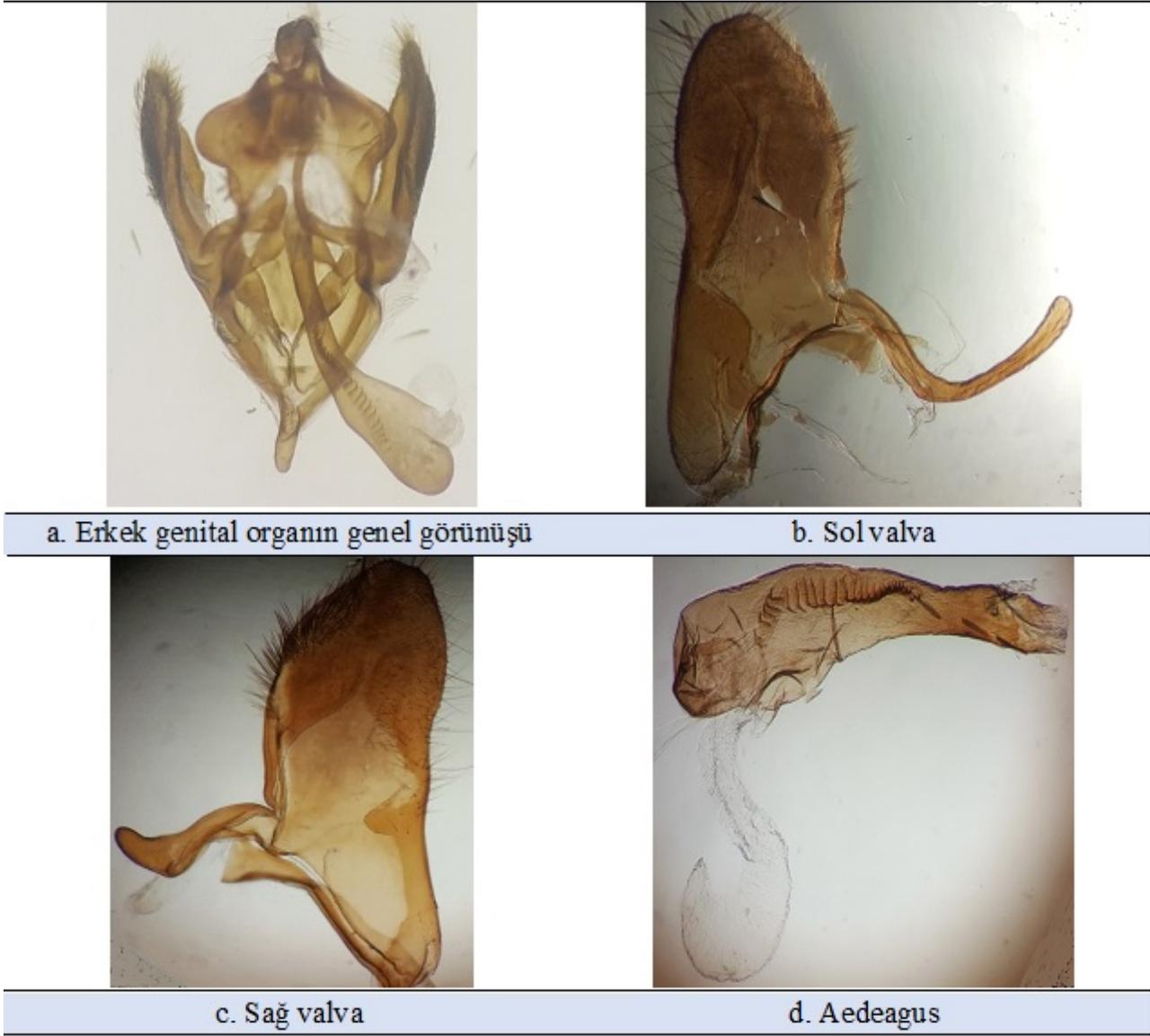
Başın tamamı, antenler, gözler, haustellum, maksillary palpler ve labial palpler siyahtır. Baş üzerinde nokta gözler yoktur. Ağız hortumu iyi gelişmiştir. Kirli sarı olan maksillary palpler çok küçüktür. Fırça şeklinde olan labial palpler iyi gelişmiş ve aşağı yönde uzamıştır. Siyah olan petegözler küçük ve az çok yuvarlağa yakındır. Antenler orta uzunlukta, uzunluğu vücut uzunluğunun 0,7 katıdır (Şekil 3a).

Ön kanadın üst ve alt zemini siyah pullarla kaplıdır (Şekil 3b). Ayrıca, kanat ortasından kaideye kadar hafif turkuaz mavisi renklenme görülür. Kanat üzerinde altı tane beyaz renkli ve değişik şekil ve büyüklüklerde lekeler vardır. Bu lekelerin içi kıl şeklinde beyaz pullarla kaplıdır. Ön kanatlar vücuda oranla uzun olup, dış kenar geniş şekilde yuvarlaklaşmıştır. Kanat uzunluğu genişliğinin 2,44 katı kadardır. Oldukça küçük ve oval şekilde olan arka kanatların üst ve alt zemini siyahtır ve üzerinde az çok kare şeklinde bir beyaz leke bulunur, kanat uzunluğu genişliğinin 1,66 katıdır (Şekil 3c). Ön kanat üzerindeki damarlanma tamdır, ancak arka kanat damarlanması eksiktir (Şekil 3d). İkinci ve üçüncü çift bacaklarda femurların ön tarafında altın sarısı renginde birer leke bulunur. Karın siyah pullarla kaplıdır. Karın bölgesinin birinci segmentinin üzerinde küçük sarı benek, beşinci segmentte ise halka şeklinde sarı bant bulunmaktadır (Şekil 3e).



Şekil 3. *Amata caspia*'nin baş, kanat ve femur yapısı.

Erkek genital organında sağ ve sol valva asimetriktir (Şekil 4a). Bu yapıların kaide kısımlarındaki çıkıntılar birbirine benzemez, soldaki valva kenarında ince uzun ve az çok C harfi şeklinde çıkıntı bulunurken (Şekil 4b), sağ valvada ise ayak şeklinde çıkıntı bulunmaktadır (Şekil 4c). Valva uzun ve geniş, uzunluğu genişliğinin 2,5 katı ve uca doğru seyrek kısa kıllar taşır; saccus kısa, dar ve sivrilmiş; uncus dar, uca doğru incelerek kanca şeklini almış; tegumen oldukça geniştir. Aedeagus uzun ve hafif eğrilmiş durumda, bulbus ejaculatorius'un bağlandığı kısım daha kalın; aedeagus'un uzunluğu genişliğinin 4,33 katı, değişik büyüklüklerde sıralanmış çok sayıda cornitu taşımaktadır (Şekil 4d).

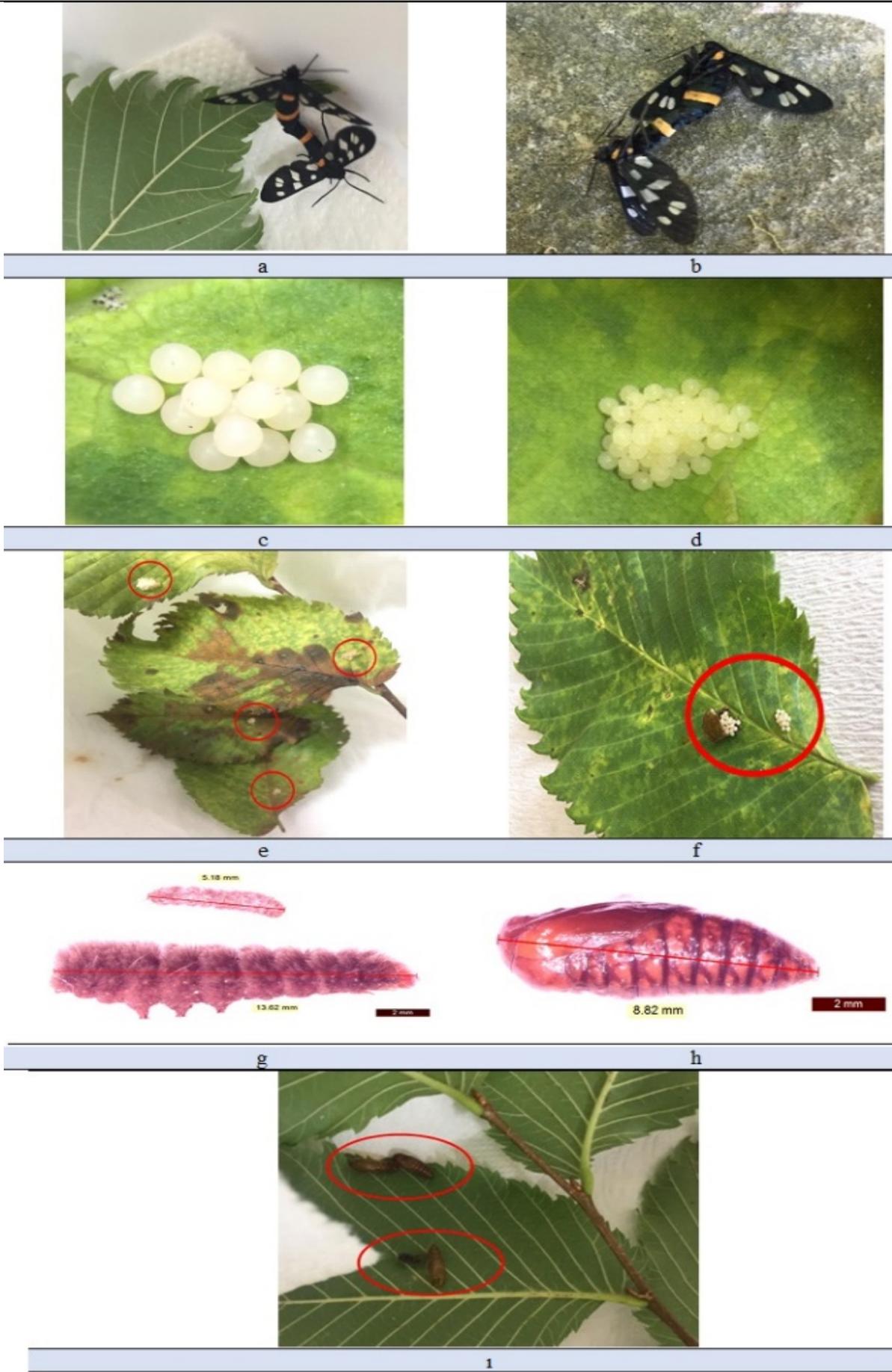


Şekil 4. Aedeagus yapısı.

### 3.4. *Amata caspia* üzerinde arazi ve laboratuvar koşullarında yapılan bazı biyolojik gözlemler

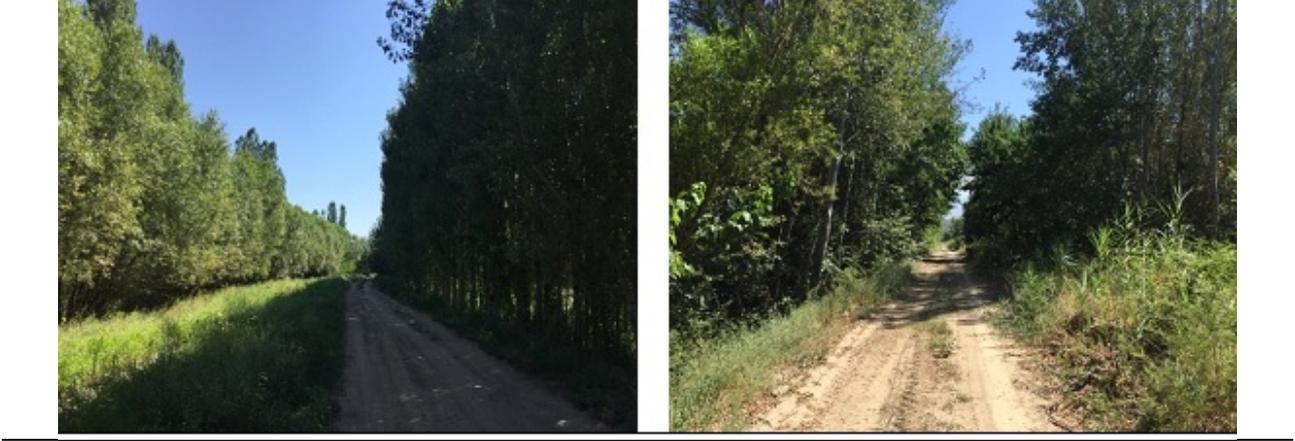
Iğdır ilinin Karakoyunlu ve Aralık ilçelerinde *A. caspia*'nın çiftleşen bireylerine arazi koşullarında 17.05.2021 tarihinde rastlanmıştır (Şekil 5 a,b). Bu çiftleşen erginlerden bazıları desikatörde kültüre alınarak Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Sistematik Laboratuvarı'na getirilmiştir. Ergin dişiler laboratuvar koşullarında ilk yumurtalarını 21.05.2021'de bırakmışlardır (Şekil 5 c,d,e,f). Bu yumurtalardan ilk larva çıkışı da 27.05.2021'de olmuştur (Şekil 5 g,h). Bu larvalar *Ulmus minor* yaprakları ile beslenmiş, ilk pupalara ise 15.07.2021'de tarihinde rastlanılmış, 18.07.21'de ise hem larva hem de pupa dönemleri bir arada görülmüştür. Bu pupalardan ilk ergin çıkışı da 21.07.2021'de olmuştur. Bu erginler şekerli su (pamuklara emdirilmiş) ile beslenmiş, 31.07.2021'de ilk çiftleşen bireyler görülmüştür. 02.08.2021'de dişiler *U. minor*

yapraklarının alt yüzeyine küme halinde yumurta bırakmışlardır. Bir dişinin ayrı ayrı kümeler halinde (her bir kümede ortalama 18 yumurta sayılmış) veya tek küme halinde toplamda yaklaşık 50-60 yumurta bıraktığı belirlenmiştir (Şekil 5 c,d,e,f). Aralık ilçesinde 05.08.21’de arazi gözlemlerinde laboratuvar koşullarıyla yaklaşık eş zamanlı olarak erginlerin uçtuğu ve çiftleştikleri tespit edilmiştir. Ergin bireyler *Ulmus minor*, *Cynanchum acutum*, *Glycyrrhiza glabra* ve *Xanthium strumarium* bitkileri ile taşlar üzerinde görülmüşlerdir. Laboratuvar koşullarında yaklaşık bir hafta sonra yumurtalar açılmış (08.08.2021) ve birinci dönem larvalar (Şekil 5 g) meydana gelmiştir. Yine, yaklaşık bir buçuk aylık süre sonra olgun larvalar (Şekil 5 g) (15.09.2021) pupa dönemine girmişler (Şekil 5 h,ı), bir hafta sonra da (22.09.2021) laboratuvar koşullarında yeni nesil erginler meydana gelmiştir.



Şekil 5. *Amata caspia*'nın biyolojik dönemleri.

Genel habitat alanı çiçekli yabancı otlar, Karaağaç (*Ulmus minor*) ve taşlık alanlar olarak görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. *Amata caspia*'nin habitatlarından görünüm.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada *Amata caspia*'nin dış morfolojisi ile erkek genital organlarının özellikleri ortaya konulmuştur. *A. caspia*'nin önemli taksonomik karakterleri, farklı parametrelerin birbirleriyle karşılaştırılmasıyla ayrıntılı olarak yeniden tanımlanmış olup, genital ve harici taksonomik karakterlerin her biri, stereo mikroskop ve dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ayrıca, türün bazı biyoeolojik özellikleri ile ilgili gözlemlere yer verilmiştir. Laboratuvar koşullarında ( $25\pm 2$  °C ve %  $50\pm 5$  orantılı nem) yumurtadan ergin hale gelinceye kadar geçen süre  $62\pm 2$  gün, ilk larva çıkışından pupa döneminin görülmesine kadar geçen süre  $56\pm 2$  gün, pupa döneminden ergin dönemine geçiş ise  $6\pm 2$  gün olmuştur. Bir dişinin kümeler halinde (bir kümede ortalama 18 yumurta) veya tek küme halinde toplamda yaklaşık 50-60 yumurta bıraktığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm örnekler Iğdır İli Aralık ve Karakoyunlu ilçelerinde Mayıs ve Ağustos aylarında yakalanmışlardır. Arazi çalışmasında ergin bireylerin Iğdır ili Karakoyunlu ilçesinde Mayıs ortalarında, Aralık ilçesinde ise Mayıs ortası ve Ağustos başlarında çiftleştikleri gözlemlenmiştir. Ergin bireyler farklı çiçekli yabancı ot türleri ve karaağaç (*U. minor*) üzerinden yakalanmıştır.

*Amata* türleri üzerinde yabancı araştırmacılar tarafından arazi ve laboratuvar koşullarında yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Venkatesha ve Gopinath (1992), Hindistan'da laboratuvar koşullarında yaşam döngüsü ile biyolojisini inceledikleri sandal ağacı (*Santalum album* L.) yapraklarında zararlı olan *A. passalis* (Fabricius, 1781)'in ayrıca çeşitli konukçu bitkilerde de (börülce, çeşitli baklagiller ve süs bitkileri gibi) beslendiğini bildirmişlerdir. Türün, yaşam döngüsünü sekiz larva dönemi ile  $62.94\pm 1.78$  günde tamamladığını, birinci dönem larvalarının  $1.97\pm 0.06$  mm ve

son dönem larvalarının ise  $29.29 \pm 2.52$  mm uzunluğunda olduğunu kaydetmişler, ergin bireylerin gün doğumundan 1-2 saat sonra ortaya çıktığını, bir gün sonra çiftleşmeye başladıklarını ve döllenmiş bir dişinin  $3,87 \pm 0,89$  günlük ömründe ortalama  $305.68 \pm 122.30$  yumurta bıraktığını, yıldaki nesil sayısının da 6-11 olduğunu da belirtmişlerdir. Venkatesha (1993) aynı türün yaşam döngüsünü laboratuvar koşullarında *Cycas circinalis*, *Morus* ve *S. album* bitkileri üzerinde çalışmış, sırasıyla  $57.81 \pm 2.91$ ,  $62.73 \pm 3.03$  ve  $61.58 \pm 1.76$  gün, bırakılan yumurta sayısını da sırasıyla  $419.90 \pm 116.99$ ,  $479.90 \pm 76.78$  olarak belirlemiştir. Ming ve ark. (2011), popülasyon yoğunluğu (bir kültür şişesinde 1, 3, 5, 7 ve 9 birey) ile sıcaklığın ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $28^{\circ}\text{C}$  ve  $31^{\circ}\text{C}$ ) *Amata* sp. larvalarının gelişme süresi, hayatta kalma yüzdesi ve beslenme miktarı üzerindeki etkilerini laboratuvar koşullarında incelemişlerdir. Sonuç olarak; türün gelişmesi ve büyümesi için en uygun sıcaklık aralığının  $28-31^{\circ}\text{C}$  olduğunu, en yüksek hayatta kalma yüzdesi (%79.47)'nin  $28^{\circ}\text{C}$ 'de ve birey başına en yüksek besleme miktarının (2.45 g) ise  $31^{\circ}\text{C}$ 'de elde edildiğini de kaydetmişlerdir. Ajamhasani (2015), *A. phegea*'nın biyolojisini kontrollü koşullarda incelemiştir. *A. phegea* larvalarının *Euphorbia*'nın yaprak ve çiçekleri ile beslendiğini bildirmiştir. Kontrollü şartlarda ( $25^{\circ}\text{C}$  sıcaklık), dişi başına ortalama yumurta sayısının 104-122, her grupta bırakılan maksimum yumurta sayısının ise 61 olduğunu, beş larva dönemi geçirdiğini ve bunların sürelerinin  $30 \pm 2$  gün, yumurtadan ergine oluncaya kadar geçen sürenin ise  $51 \pm 2$  gün olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, türün yılda 3 nesil verdiğini ve kışı da pupa döneminde geçirdiğini bildirmiştir.

Witt ve ark. (2007), İsrail'deki Hermon Dağı'nda yeni tür olarak tanımladıkları *Amata gil*'in dağılımı, ekoloji ve fenolojisini çalışmışlar ve türün bireylerini 1500-2600 m yüksekliklerde yakalamışlardır. Hermon Dağı'nın, çoğunlukla kireçtaşından oluşan üç ayrı zirveye sahip bir dağ kümesi olduğunu, bu bölgenin karla kaplı ve kışları sıcaklığın çok düşük olduğunu, yazların ise sıcak ve kurak geçtiğini belirtmişlerdir. Bu bölgede *Astragalus* ve *Onobrychis* gibi bitki topluluklarının hakim durumda olduğu bildirilirken (Danin, 1988), sadece bir örneğin az sayıda dağılık *Rosa canina* L. ve *Crataegus* sp. çalıları (Rosaceae) ile yaklaşık 1500 m karstik eğimli bir kserotherm üzerinde uçururken yakalandığını, Suriye'den toplanan iki örneğin ise sabahın erken saatlerinde *Astragalus* sp. çalıları arasında büyüyen çiçekler üzerinden toplandığını kaydetmişler, *A. gil*'in hazirandan temmuza kadar uçan bir yaz türü olduğunu da bildirmişlerdir.

Yapılan tüm çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde *Amata* türleri arasında habitat, konukçu, ve biyoekolojik özellikler bakımından bir çok farklılığın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; Türkiye fauna ve flora bakımından oldukça zengin bir ülke durumunda olup, bu tür çalışmalar ile farklı ve ülkemizde ender olarak görülen türlerin taksonomik ve bioekolojik özelliklerinin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır



### Yazarların Katkısı

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkıda bulunmuşlardır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Ajamhasani, M. (2015). Biological study of nine spotted moth *Amata phegea* L., (Lepidoptera: Arctiidae) in laboratory conditions. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 12(2), 122-129.
- Anonymous, (2021). [https://en.wikipedia.org/wiki/Amata\\_\(moth\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Amata_(moth)) (Erişim Tarihi: 1 Ekim 2021)
- Atay, E. (2006). The Identity of *Parapoynx affinalis* (Guenee, 1854) (Lepidoptera, Crambidae, Nymphulinae) in Turkey. *Journal of Entomology*, 3(1), 76-81.
- Danin, A. (1988). Flora and vegetation of Israel and adjacent areas. In: Y. Yom-Tov & E. Tchernov (Ed.), *The Zoogeography of Israel*, Junk Publishers, (pp. 251-276), Dordrecht, The Netherlands.
- Gullan, PJ, Cranston, PS. (2010). *The Insects: An Outline of Entomology*. West Sussex, UK.
- Hüseyinoğlu, Y. (2016). Osmaniye’de diurnal ve nocturnal Lepidoptera türleri üzerine bir araştırma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 17-25.
- Ignatyev, N.N. and Zolotuhin, V.V. (2005). A review of syntomids (Lepidoptera: Syntomidae) of Russia and adjacent territories. Part 1. Genus *Syntomis* Ochsenheimer, 1808. *Eversmannia*, 3-4, 28-55.
- Koçak, A.Ö. and Kemal, M. (2006). Checklist of the Lepidoptera of Turkey. *Centre for Entomological Studies*, 1, 1-196.
- Koçak, A.Ö. and Kemal, M. (2007). Revised and annotated checklist of the Lepidoptera of Turkey. *Centre for Entomological Studies*, 8, 1-150.
- Koçak, A.Ö. and Kemal, M. (2008). Checklist of the Diurnal Lepidoptera of Turkey. *Centre for Entomological Studies*, 15, 1-43.
- Koçak, A.Ö. and Kemal, M. (2009). Revised Checklist of the Lepidoptera of Turkey. *Centre for Entomological Studies*, 17, 1-150.
- Koçak, A.Ö. ve Kemal, M. 2018. A synonymous and distributional list of the species of the Lepidoptera of Turkey. *Centre for Entomological Studies*, 8, 1-489.
- Kristensen, NP., Scoble, M. and Karsholt, O. (2007). Lepidoptera phylogeny and systematics: the state of inventorying moth and butterfly diversity. *Zootaxa*, 1668, 699-747.
- Langourov, M., Simov, N. and Abadjiev, S. (2019). Notes on the distribution of some species of Lepidoptera in Kazakhstan. *Historia Naturalis Bulgarica*, 36, 1-6.
- Lu, HF., Chen, FQ. and Wu, CS. (2012). *Catalogue of Ctenuchina Heppner, 1992 from China (Lepidoptera: Erebidae, Arctiinae)*. *SHILAP Revista de Lepidopterologia*, 40(160), 447-463.
- Ming, Z. Ping, W. FuCai, Z. AiXiang, G. Jia, R. and QiJing, H. 2011. Effects of population density and temperature on the growth and development of *Amata* sp.. *Zhongguo Shengtai Nongye Xuebao / Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 19(3), 688-691.
- Speidel, W. and Naumann, C. (2004). A survey of family - group names in noctuid moths (Insecta: Lepidoptera). *Systematics and Biodiversity*, 2, 191-221.

- van Nieukerken, E., Kaila, L., Kitching, I., Kristensen, N. and Lees, D. (2011). Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148, 1-237.
- Venkatesha, M.G. (1993). Biology of the sandalwood defoliator *Amata passalis* (Lepidoptera: Arctiidae) on alternata host plants. *Annals of Entomology*, 11(2), 73-77.
- Venkatesha, M.G. and Gopinath, K. (1992). The life-history and behaviour of *Amata passalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Arctiidae), a defoliator of sandalwood, *Santalum album* L.. *Indian Journal of Forestry*, 15(3), 229-233.
- Witt, J T. Kravchenko, DV. Speidel, W. Mooser, J. Junnila, A. and Müller, C G. (2007). A new *Amata* species from Israel (Arctiidae, Syntominiinae). *Nota Lepidopterologica*, 30(2), 367-373.
- Zahiri, R., Kitching, IJ., Lafontaine, JD., Mutanen, M. and Kaila, L. (2011). A new molecular phylogeny offers hope for a stable family level classification of the Noctuoidea (Lepidoptera). *Zoologica Scripta*, 40, 158-173.

## **Yeraltı Barajlarında Plastik Beton Perdenin Uygulaması, Geçirimsizlik Performansı ve Korunması**

Ahmet APAYDIN<sup>1\*</sup>

### **Öz**

Dünyada ve ülkemizde yer üstü barajları başta olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanan plastik beton (slurry wall) yöntemi yeraltı barajlarında bugüne kadar dünyada çok az uygulanmakla birlikte, Türkiye’de 2019 yılında “Cumhuriyetin 100. Yılında 100 Yeraltı Barajı” sloganıyla başlatılan Yeraltı Barajları Eylem Planı kapsamında ilk uygulamalar başlamıştır. Bu yöntemin yeraltı barajlarındaki uygulaması, akifer kesitini tamamen keserek kapatan ve böylece yeraltısuyu akışına engel olan geçirimsiz bir plastik beton perdenin inşasıdır. Yerüstü barajlarındaki gibi özel makinelerle yüzeyden yapılan bu işlem sonucunda, perde gerisinde yeraltısuyu seviyesi yükseltilerek depolanan su kuyularla veya cazibeyle kullanıma sunulmaktadır. Perdenin geçirimsizlik performansının test edilmesi sahada ve laboratuvarında bir dizi araştırma, test, ölçüm ve gözleme dayanır.. Cazibeli projelerde yapılan drenaj kazıları ve suyun mansaba geçirilmesinde perdeye zarar vermemek için gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca, taşkınlarla taban oyulması sonucu perdenin üst kısmının hasar görme ihtimaline karşı perde üzerinde beton veya kaya bloklarıyla destek yapılması, gerekiyorsa menba tarafta enerji kırıcı yapılar inşa edilerek taşkın anında suyun enerjisinin düşürülmesi sağlanmalıdır. Bu makalede bu tür koruyucu önlemlerin mevcut ve gelecekteki uygulamalarda dikkate alınması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı barajı, bulamaç hendeği, plastik beton perde, geçirimsizlik performansı

## **Application, Impermeability Performance and Protection of Slurry Concrete Wall in Underground Dams**

### **Abstract**

The slurry wall method, which is applied in various fields, especially in surface dams in the world and in our country, is rarely applied in underground dams in the world, but the first applications have started in Turkey in 2019 within the scope of the Underground Dams Action Plan, which was launched with the slogan "100 Underground Dams in the 100th Anniversary of the Republic". The application of this method in underground dams is the construction of an impermeable plastic concrete wall (slurry wall) that completely cover the aquifer section and thus prevents groundwater flow. Testing the impermeability performance of the curtain is based on a series of research, tests, measurements and observations in the field and in the laboratory. In structures where water is obtained by gravity, necessary precautions should be taken to prevent damage to the wall during drainage excavations and water flow downstream. In addition, in case of damage to the upper part of the wall as a result of the base carving, support should be made with concrete or rock blocks on the wall, and if necessary, energy-breaking structures should be constructed on the upstream side to reduce the energy of the water in the event of a flood. It is suggested in this paper that such protective measures should be considered in current and future applications.

**Keywords:** Underground dam, slurry trench, slurry concrete wall, impermeability performance

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, ahmet.apaydin@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6437-7208>

## 1. Giriş

İngilizce literatürde slurry trench cut-off wall, slurry wall, plastic concrete wall olarak geçen ve ülkemizde “plastik beton geçirimsizlik perdesi” veya “plastik beton perde” olarak bilinen uygulama baraj gövdesi altında, atık sahalarında, madencilikte, büyük mühendislik yapılarında sızdırmazlığı sağlamak amacıyla inşa edilmektedir. Bulamaç hendeği (slurry trench) adı verilen dar, uzun ve derin çukur içinde inşa edilen plastik beton duvarın yerüstü barajlarındaki uygulaması; gövde altındaki geçirimli jeolojik formasyonun kazılarak kaldırılmayıp gövdenin veya batardonun altında bir perde (diyafram) duvar oluşturarak geçirimsizliğin sağlanması şeklindedir. Bu yöntem, kalın geçirimli jeolojik formasyonlar üzerinde dolgu tip barajların yapımına imkan sağlamıştır (Davidson ve ark. 1992; Balian, 2007). Yöntemde geçirimli formasyon içinde yüzeyden geçirimsiz formasyona kadar hendek kazılarak bu hendeğin içi su, çimento, bentonit ve agrega karışımı bir harç ile doldurularak (hendek içinde geçici olarak stabiliteyi sağlayan koyu ayan kıvamındaki bulamaç malzeme dışarı atılmak suretiyle) plastik beton duvar imal edilmektedir. Bu yöntem madencilikte (Davidson, 1992) akarsu kenarlarında sedde altından dışarıya, bazı büyük yapıların temellerine veya zemin altındaki katlarına, atık sahalarından yeraltılarına su sızmaması için de inşa edilmektedir (PCA, 1984; Ryan, 1984 ).

Dünyada uygulaması daha eskilere giden plastik beton geçirimsizlik perdesinin Türkiye’de baraj mühendisliğinde ilk uygulaması 1976 yılında Aslantaş Barajında gerçekleştirilmiştir (Karaoğullarından ve ark. 1977). Daha sonra Tahtalı, Akköprü (Tosun ve ark. 2002), Süreyyabey (Akman, 2001), Muratlı (Ünsever, 2007), Yedigöze (Nohut, 2010), Aslancık (Alp ve ark. 2014), Koyunbaba, Kalecik (Apaydin 2022), Sulakyurt (Önal, 2018) ve Büyükkumlu (Çakır ve Ünsever, 2019) vb. birçok barajda uygulanmıştır. Bu konuda Türkiye iyi bir deneyime sahiptir.

Yerüstü barajlarında kalın geçirimli alüvyon malzeme olması halinde uygulanan plastik beton yönteminin diğer bir uygulama alanı da yeraltı barajlarıdır. Plastik beton, yeraltı barajlarında yeraltısuyu akımına karşı bariyer oluşturarak perde gerisinde suyun bloke edilerek gözenekli ortam içinde depolanmasını sağlar. Uygulama pekişmemiş veya gevşek çimentolu taneli akiferlerle sınırlıdır. Çatlaklı kaya ve karstik akiferlerde kesişen kazık, enjeksiyon gibi yöntemler uygulanmaktadır ((JGRA, 2004; Ishida ve ark. 2011; Apaydin, 2014). Kalınlığı fazla olan vadi veya sahil alüvyonlarında inşa edilen yeraltı barajlarında kazı maliyetinin yüksek olması ve derin kazı yapılmasındaki zorluklar nedeniyle plastik beton yöntemi akla gelmektedir. Bu yöntem, yerüstünden özel makinelerle akifer kesitini tamamen kaplayacak şekilde kazılan dar ve derin çukur içinin özel bir karışımla doldurularak yeraltısuyu akışına karşı bir bariyer oluşturulması işlemidir. Donatısız ve kolay uygulanabilir olmasıyla tercih edilmektedir. Uygulamadan başarılı sonuç elde edilebilmesi perdeden, perde tabanı ile formasyon arasından veya formasyondan mansaba kaçak

olmamasına bağlıdır. Gövde maliyetinin düşürülmesi amacıyla yerüstü barajlarında olduğu gibi dar eksenler seçilir, ancak projenin uygulanabilir olmasında ve arzu edilen sonucun elde edilmesinde diğer gövde tipli yeraltı barajlarında olduğu gibi, gövde arkasındaki akiferin boyutları, hidrolik özellikleri, topoğrafik ve hidrolik eğimi, beslenme koşulları, elde edilecek suyun kimyasal özellikleri ve kalitesi belirleyicidir.

Dünyada plastik beton perde yönteminin uygulandığı çok az yeraltı barajı vardır. Sırasıyla 1984 ve 1992'de inşa edilen Japonya'daki Tsunekami ve Waita yeraltı barajları bilinen ilk örneklerdir. 1995 ile 2000 yılları arasında inşa edilen diğer bir örnek Kore'deki Sangcheon yeraltı barajıdır. Bundan sonra, Japonya'da birkaç yeraltı barajı daha inşa edilmiştir (Ishida ve ark. 2011). Ancak literatürde bunlarla ilgi bilgilere ulaşamamıştır. Türkiye'de 2000'li yıllarda özellikle yarı kurak iklime sahip iç bölgelerde sulama ve içme amaçlı yeraltı barajları inşa edilmiştir. Bu barajların neredeyse tamamı toprak dolgu tipinde olup, su çoğunlukla cazibe ile elde edilmektedir. Kırıkkale-Yahşihan, Ankara-Kalecik-Malıboğazı, Çorum-İskilip, Eskişehir-Seyitgazi-Sancar, Elazığ-Baskil yeraltı barajları bunlardan en çok bilinenlerdir (Apaydın 2014). Ankara'nın Elmadağ ilçesine içme suyu sağlamak amacıyla inşa edilen Elmadağ-Kargalı barajı Türkiye'de hem yeraltı, hem de yerüstü depolaması olan ilk örnektir (Apaydın ve Zengin 2016).

Tarım ve Orman Bakanlığı ve ona bağlı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) son yıllarda şiddetlenen ve neredeyse ülkenin tamamında hissedilen kuraklık ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı yerel, bölgesel veya ülke çapında bazı önlemler almaya çalışmaktadır. "Bin Günde Bin Gölet" ve "Yeraltı Barajları Eylem Planı" ülke ölçeğinde iki güncel örnektir. İlki 2015 yılında tamamlanmış, ikincisi ise halen uygulama aşamasındadır. Yeraltı barajları eylem planı "Cumhuriyetin 100. Yılında 100 Yeraltı Barajı" sloganıyla 22 Temmuz 2019 tarihinde bir açılış toplantısıyla bizzat Tarım ve Orman Bakanı tarafından kamuoyuna duyurulmuştur. Bu eylem planına göre, 2023 yılı sonuna kadar Türkiye'de en az 100 yeraltı barajı veya yeraltısuyu yapay besleme tesisinin inşa edilmesi hedeflenmiştir. 2022 yılı başı itibariyle inşa edilenlerin sayısı 50'dir. Bu eylem planı kapsamında Türkiye'de birkaç projede ilk defa plastik beton geçirimsizlik perdesi yönteminin uygulanması söz konusudur. Bilindiği kadarıyla ikisinin (Bartın-Bahçecik ve İzmir-Kiraz-Suludere) inşaatı büyük ölçüde tamamlanmış, diğerleri inşa veya proje sürecindedir.

## 2. Materyal ve Metot

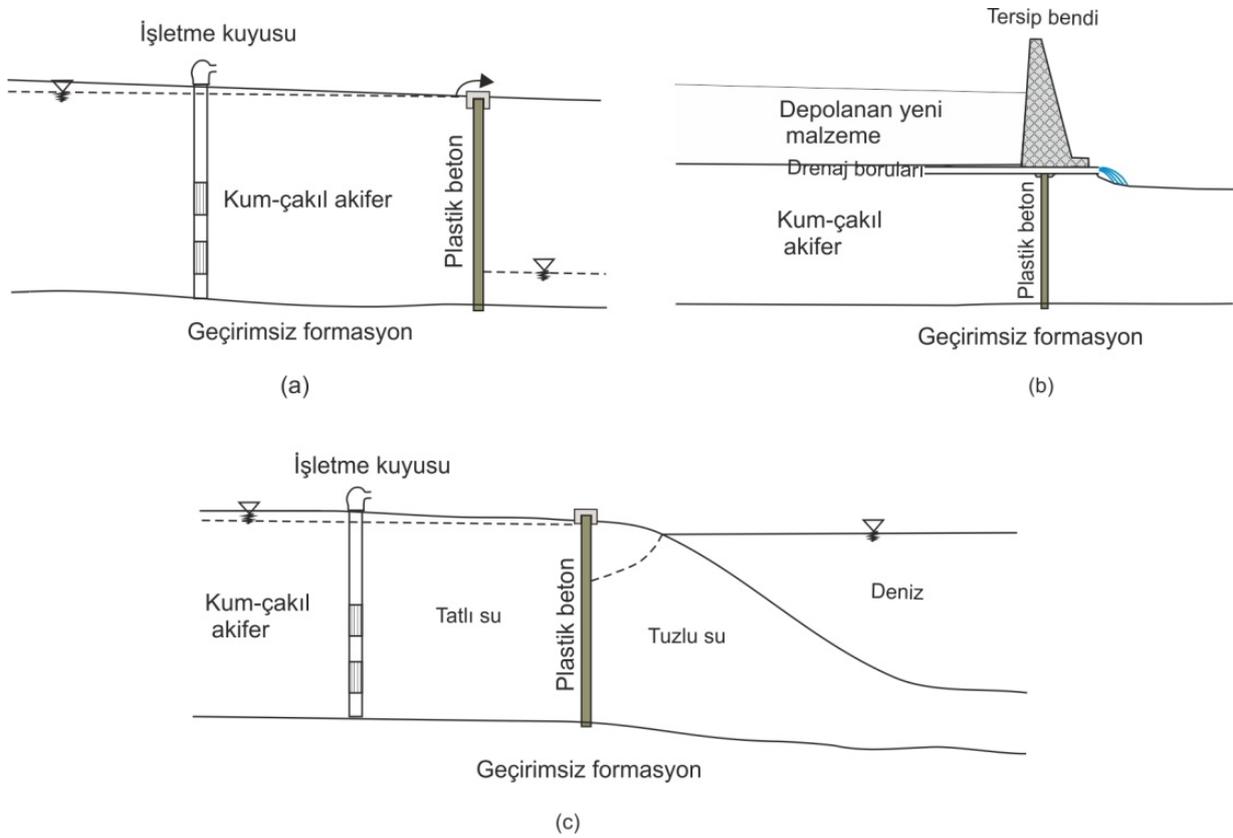
Plastik beton geçirimsizlik perdesi birbirine bitişik paneller şeklinde inşa edilir. Yöntemin uygulanmasında maksimum derinlikle ilgili olarak kısıtlama olmasına karşın, bu yöntem enjeksiyonla birleştirilerek düşük maliyetle geçirimsizlik elde edilmesini sağlar (Karaoğullarından ve ark. 1977). Plastik beton imal etmek için yapılan hendek kazısının derin ve yeraltısuyu

seviyesinin yüksek olduğu yerlerde zemin de yumuşak ve gevşek ise kazı duvarlarının göçmeyerek stabil kalması amacıyla bentonit çamuru kullanılmaktadır. Bu yöntem, perde oluşturmak amacıyla hendeği doldurmakta kullanılan malzemeler yönünden farklılıklar göstermektedir (Tosun ve ark. 2002). Perde derinliğine ve amaca bağlı olarak uygulama kum-bentonit, çimento-bentonit-su ve beton malzemeleri ile yapılabilmektedir. Buna göre, kullanılan kazı-dolgu yöntemleri ile ekipmanlar da değişiklik göstermektedir (Fell ve ark. 1992). Kazı yapılan jeolojik ortamın özelliğine (alüvyonun yumuşak veya bloklu olması, altındaki ana kayanın sertliği) bağlı olarak kullanılan makine ve kesici ucu da farklılık gösterebilmektedir.

Genellikle derinliğin fazla olması halinde perde kalınlığı biraz daha fazla tutulur. Dünyada plastik beton perde uygulamalarda alt ve üst sınırlar 50 ve 150 cm (Opdyke ve ark. 2005) olup, barajlarda kalınlık genellikle 60 cm ile 120 cm arasında uygulanmaktadır (DOD ETC, 1994) Yapım öncesi hazırlık, imalat ve geçirimsizliğin test edilmesi şeklinde üç aşama söz konusudur. Baraj mühendisliğinde plastik beton perdenin imalatı ve geçirimsizlik performansının test edilmesi uzmanlık gerektiren özel çalışmalar ile arazi ve laboratuvarında yapılan testlerle mümkün olabilmektedir. Geçirimsizlik perdesi inşaatı ile ilgili çeşitli yayınlarda (Karaoğullarından ve ark. 1977; D'Appolonia ve Ryan 1979; Millet ve Perez, 1981; PCA, 1984; Millet ve ark. 1992; Davidson ve ark. 1992; Evans ve Cooley, 1995; Filz ve Mitchell, 1995; Ryan ve Day 2003) ayrıntılı bilgiler verilmektedir. Buna göre işlem adımları (1) perdenin doğrultusunu ve sınırlarını belirleyen kılavuz duvarların inşası (duvar kalınlığı 0,7-1,5 m arasında uygulanır) ve panellerin sınırlarının ve numaralarının kılavuz duvar üzerine işaretlenmesi, (2) kazı işlemine geçilmeden önce kazı duvarlarının göçmesini önlemek amacıyla bentonit çamurunun ve plastik beton imalatı için gerekli karışımın hazırlanması, (3) ilk panel için bulamaç çukurunun açılması ve içinin duvar oluşturacak karışım malzemesi ile doldurulması, daha sonra arada bir panel boşluk bırakacak şekilde atlayarak üçüncü, beşinci, yedinci vb. devam eden panellerin aynı şekilde inşa edilmesi, (4) birincil paneller plastik hale geldikten sonra araların yani ikinci, dördüncü, altıncı panellerin önceki panelleri boylu boyunca bir miktar kesecek şekilde inşa edilmesi ve böylece perdenin projeye uygun olarak aralarında boşluk kalmayacak şekilde inşa edilmesi şeklinde özetlenebilir. Yöntemin yeraltı barajlarındaki uygulaması yerüstü barajlarındaki gibidir. Perde imalatı tamamlandıktan sonra yapılan testlerde (yanal ve düşey devamlılık, kalınlık ve hidrolik iletkenlik) performans yeterli kabul edilirse, üst kısmı boyunca yapılan tıraşlama ve düzeltmeden sonra başlık betonu atılır.

### 3. Plastik Beton Gövdeli Yeraltı Barajı Modelleri

Yeraltı barajlarında eskiden beri toprak dolgu, beton, stone, plastic sheet gibi gövde tiplerinin uygulandığı bilinmektedir (Hanson and Nilsson 1986; Nilsson 1988; JGRA 2004; Foster and Tuinhof 2004, Raju ve ark. 2006). 1980'lerden sonra özellikle Japonya, Kore ve Çin'de enjeksiyon, jet kolon (jet grout), yerinde karışım (mix in-place), plastik beton (slurry concrete wall veya slurry wall) gibi yöntemler de uygulanmaya başlanmıştır (Nagata ve ark. 1993, 1994; Ishida ve ark. 2003, 2011; JGRC 2001). Yeraltı barajlarında plastik beton geçirimsizlik perdesi özellikle sahil ve vadi alüvyonlarında birkaç şekilde uygulanabilir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Plastik beton geçirimsizlik perdesinin yeraltı barajlarında uygulama şekilleri (a: Kalın vadi alüvyonlarında kuyulardan pompajlı veya cazibeli, b: Sediment tutucu tersip bentlerinde cazibeli, c: Sahil akiferlerinde tuzlu girişimini önleyerek kuyulardan pompajlı).

(1) Kalınlığı veya kesit genişliği fazla olan akiferlerde su elde etmek amacıyla perde gerisinde yeraltısuyunu depolama veya doğal depolamayı artırma yöntemidir. Gövde üzerinden taşan su cazibeyle alınabilir veya kuyulardan çekimle su elde edilebilir (Şekil 1a). Kurak bölgelerde alüvyon akiferlerde eskiden beri kullanılan içme suyu kuyularının mansabında inşa edilerek, gövde arkasında yeraltısuyunun daha fazla depolanmasını sağlamak ve böylece kuraklıktan daha az

etkilenmek mümkün olabilir. Ancak, mansapta yakın bölgede kuyu veya kaynakların olumsuz etkilenmesi söz konusu ise avantaj ve dezavantajları iyi analiz edildikten sonra karar verilmelidir.

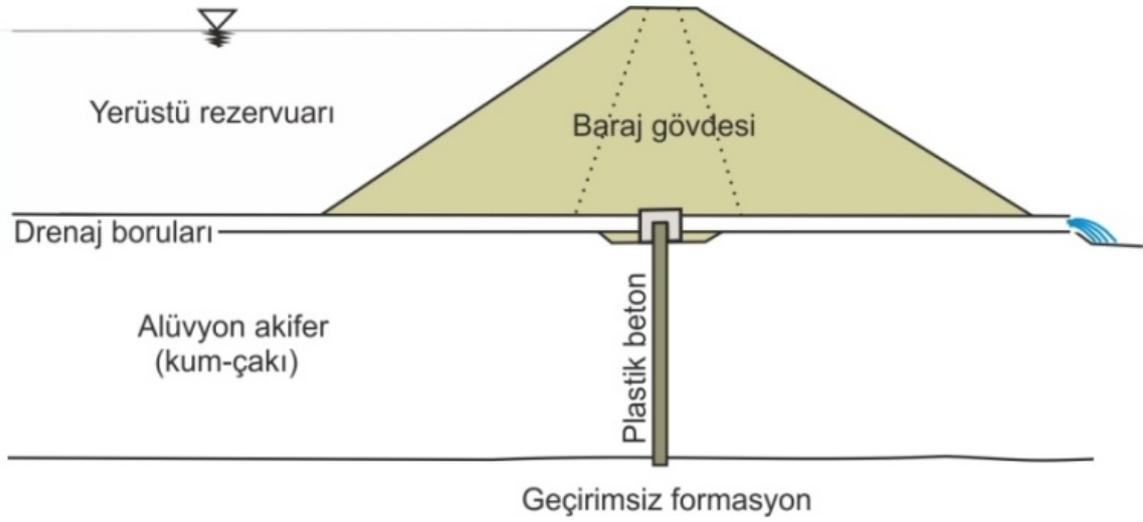
(2) Sediment tutucu olarak inşa edilen tersip bentlerinde gövdenin altında yeterli kalınlıkta ve genişlikte alüvyon akifer varsa gövde altında geçirimsizliği sağlamak amacıyla plastik beton perde inşa edilerek cazibeyle su elde edilebilir (Şekil 1b).

(3) Sahil akiferlerinde tuzlu su girişimini önlemek suretiyle plastik beton perde arkasındaki tatlı yeraltısuyundan cazibe veya kuyulardan pompajla faydalanılabilir (Şekil 1c).

(4) Hem yeraltı, hem de yerüstü depolaması mümkün olan yerlerde birleşik depolama yapıları inşa edilebilir. Bu tür yapılarda yeraltı sızdırmazlığı plastik beton perde ile sağlanabilir. Plastik beton, yerüstü barajlarında uygulandığı gibi homojen toprak veya kil çekirdekli barajlarda Şekil 2'deki gibi uygulanabilir. Bu tür projelerde yeraltı ve yerüstü rezervuarından faydalanmak için tek veya iki su alma yapısı inşa edilebilir. Bu modelde, yerüstü rezervuarında su kalmadığında sadece akiferin üst kısmında drenajlardan gelen suların faydalanılabilmekte, drenaj kotu altındaki ölü hacimden cazibeyle faydalanılamamaktadır.

Plastik beton perdeli yeraltı barajlarında Türkiye'deki bazı toprak dolgu yeraltı barajlarında olduğu gibi, suyun gövde altından (örneğin İskilip yeraltı barajı) veya gövdenin belirli bir seviyesinden (örneğin Kalecik-Malıboğazı yeraltı barajı) alınmasıyla daha etkin kullanılabileceği düşünülebilmekle birlikte iki önemli sorun nedeniyle şimdilik böyle bir uygulama çok zor görünmektedir. Bunlardan biri, gövdenin derin ve topoğrafyanın az eğimli olması nedeniyle suyun minimum eğimle yeryüzüne çıkarılması için mansapta uzun mesafeler boyunca derin kazı yapılması mecburiyetidir. Bu hem yüksek kazı maliyeti, hem kazı güçlüğü, hem de mansap bölgedeki bazı engeller nedeniyle oldukça zordur. Kaldı ki, kalın ve geniş kesitli akiferlerde plastik beton yöntemini uygulama gerekçesi kazı maliyetinin yüksek oluşu ve derinden alınan suyun cazibeyle yüzeye çıkarılmasındaki güçlüklerdir. Böyle bir uygulamada asıl risk, hassas ve ince bir duvar şeklindeki plastik betonun kazma ve delme işleminde tahrip edilmesidir. Sonuç olarak plastik beton perdeli yeraltı barajlarında suyun cazibeyle alınması için yapılabilecek uygulama, kret seviyesinden aşağıda döşenen drenaj borularıyla suyun derlenip toplanması ve suyun sol yamaç veya sağ yamaçta ana kayada kazı yapılarak veya perdenin üst kısmında bir kapı açılarak iletim borusunun buradan mansaba geçirilmesi şeklinde olabilir.





Şekil 2. Yerüstü ve yeraltı depolaması olan (birleşik depolamalı) barajlarda plastik beton geçirimsizlik perdesinin uygulaması.

#### 4. Yeraltı Barajlarında Plastik Beton Perdenin Geçirimsizlik Performansı

Plastik beton perde inşasında amaç su akışına karşı bir bariyer oluşturmaktır. Bunun için en önemli performans kriteri “geçirimsizlik”tir. Baraj gövdesi veya batardo altında inşa edilmesi halinde üzerindeki yüklere karşı davranışı yani “dayanımı” ikinci parametredir. Yeraltı barajlarında perde üzerinde kayda değer yükler olmayacağından, perdenin geçirimsizlik yönünden standartlara uyması yeterlidir.

Plastik beton perde hangi amaçla imal edilirse edilsin, geçirimsizlik performansı konusunda bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu konuda literatürde bazı öneriler veya kabul koşulları vardır. Bunlar ülkelere göre veya uygulama amacına göre farklı olabilir. Örneğin A.B.D’de, plastik beton geçirimsizlik perdesinin hidrolik iletkenliği en az  $1 \times 10^{-7}$  cm/s olmalıdır (Evans and Huang, 2016). D’Appolonia (1980), toprak dolgu barajlarda plastik beton perdenin hidrolik iletkenliğinin üst sınırının yaklaşık  $1 \times 10^{-6}$  cm/s olması gerektiğini öne sürmüştür. Diğer taraftan Xanthakos (1979) ve Furman ve ark. (1985) üst sınırı  $1 \times 10^{-8}$  cm/s olarak önermiştir. Bureau of Reclamation (2014)’a göre, söz konusu geçirgenlik koşullarının sağlanması için, perde içinde bulunan büyük parçacıkların aralarında oluşan gözeneklerin yeterli miktarda ince tane ile dolması gerekmektedir. Dolayısıyla, iyi derecelenmiş bir dolgunun bu koşulu sağlaması daha kolaydır. Dolayısıyla, dışarıda hazırlanan plastik beton malzemesinin stabilitesi bozulmayan hendek içinde homojen bir şekilde karışmış ve dağılmış olarak yerleşmiş olması, arzu edilen performansın elde edilmesi için en temel koşul olmaktadır. Plastik betonun homojenliği, derinliği, perde içinde imalat hatasından kaynaklanan anormalliklerin belirlenmesinde sondajsız yöntemler (tomografi, jeoradar vb) uygulanmaktadır. Ancak ülkemizde araştırma sondajı açma, karot örneklerini inceleme, karot örneklerinde laboratuvarında permeabilite testleri yapma, pompalama testleriyle menba-mansap ilişkisini test etme,

menba ile mansap taraf arasında su seviyesi farkını izleme gibi operasyonel yöntemler tercih edilmektedir.

Türkiye’de barajlarda geçirimsizliği sağlamak amacıyla inşa edilen plastik beton perdenin geçirimsizlik ve dayanım etkinliği konusunda yaygın uygulamaya göre, derinlik kontrolü için açılacak sondaj sayısı ve laboratuvarlarda geçirimsizlik ve dayanım testleri için alınacak örnek sayısına esas alan belirlenir ve bunlar yapım şartnamesinde belirtilir. Ancak, sondaj yerlerine ve numune derinliklerine perde inşaatı tamamlandıktan sonra karar verilir. Gerek görülürse sondaj ve numune sayısı artırılabilir. Genellikle karotlarda elle ve gözle yapılan inceleme sonucunda laboratuvar testleri için örnekler en zayıf yerlerden seçilir. Türkiye’de kabul edilen uygulamaya göre, perdeden alınan karot örneklerinde laboratuvarda yapılan deneyler sonucunda ideal olarak permeabilite değeri  $1 \times 10^{-6}$  cm/s'den düşük olmalıdır. Bununla beraber, karışımın doğası gereği olabilecek heterojenlik göz önüne alınarak, ideal koşul sağlanamıyorsa permeabilite değerlerinin en az %80'i  $1 \times 10^{-6}$  cm/s' den düşük ve aynı zamanda en az %95'i  $1 \times 10^{-5}$  cm/s' den düşük olmalıdır. Hiç bir deney sonucu  $2 \times 10^{-5}$  cm/s değerinden yüksek olmamalıdır (Apaydin, 2022).

Perdede bütünlük ve derinlikte projeden sapma konusunda belirli bir hüküm yoktur. Ancak genel uygulama, herhangi bir sapma olursa o panellerin yeniden inşası şeklindedir. Diğer parametrelerce sorun yoksa ve tamamlayıcı olarak pompaj testlerinde (Şekil 3) menba ile mansap tarafı mansap arasındaki hidrolik bağlantı oluşmamışsa perdenin etkinliği tescil edilmiş demektir. Menba-mansap arasında herhangi bir bağlantı tespit edilmişse öncelikle bunun nedeni ve yeri belirlenir. Gerekliyorsa kaçak olan yerdeki paneller yeniden inşa edilir. Perdenin etkinliğini kontrol eden bütün çalışmalar ve elde edilen veriler uzman bir heyet tarafından topluca değerlendirilir ve ona göre sonuca varılır.



**Şekil 3.** Bir barajda kil çekirdek altında kalacak plastik beton perdenin geçirimsizlik performansında pompalama testi (Menba taraftaki pompaj kuyusundan (a) çekilen suyun beton çamur havuzuna boşaltılması, mansaptaki gözlem kuyularının perde ve pompaj kuyusuna göre konumu (c) ve gözlem kuyusunda düdüklümetre ile su seviye ölçümü (d) (Foto: A.Apaydın).

## 5. Yeraltı Barajlarında Plastik Beton Perdenin Korunması

### 5.1. İmalat Süresince

Plastik beton imalatında başarının ilk koşulu hendeğin göçmeye karşı korunmasıdır. Duvarların göçmesinde iki zayıf noktadan biri yeraltısuyu basıncı, diğeri ise gevşek jeolojik zonların (tabaka veya mercek şeklinde) olmasıdır. Alüvyon akiferlerde kaba taneli gevşek zonlar yeraltısuyu akım hızının yüksek olmasıyla göçmeye karşı daha hassastır. Bu nedenle, proje aşamasında yapılan araştırma sondajları ve jeofizik yöntemlerle imalatın yapılacağı kesitteki heterojenlikler ve kolay göçebilecek yerler belirlenmelidir. Göçen kısımların permeabilitesi yüksek zonlar olması ve bu malzemenin çukur içine dökülen plastik beton içine karışarak permeabiliteyi yükseltmesi söz konusudur. Özellikle de bu tür defolu yerlerin (yerel veya bölgesel olabilmektedir) kayda değer alanı kaplaması, perdenin geçirimsizlik performansını düşürmektedir. Kısacası, imalat sonuna kadar hendek güvenliğinin sağlanarak, her panelin mümkün olduğu kadar eşit et kalınlığına

sahip, alttaki geçirimsiz formasyona kadar inen, permeabilite yönüyle heterojenlik içermeyen özellikte inşa edilmesi gerekir. Vaka ve model araştırmalarına göre sığ formasyonlarda uygulanan plastik beton uygulamalarında bölgesel veya tüm panelleri kapsayan göçmelerin 5-15 m arasında olduğuna işaret etmektedir (Wong 1984; Tsai ve ark. 2000; Li and Wang 1984; Washbourne 1984). Kılavuz duvarın altında oluşan boşluk içinin dolmasıyla genellikle bir çıkıntı olabilmektedir (Washbourne 1984).

Hendek duvarlarında göçme yapay nedenlerle de olmaktadır. Hendek içinde herhangi bir nedenle çamur seviyesinin 1 m alçalması veya ağır makine veya motorlu araçlarla duvar kenarında zemine baskı yapılması göçmelere neden olabilir (Wong 1984). Bu nedenle, hendek içinde derinlere sızma sonucu bulamaç çamuru kaybının devamlı takviye edilerek seviyenin düşürülmemesi önemlidir.

## 5.2. Performans Testleri Esnasında

Plastik beton geçirimsizlik perdesi bileşimi, inceliği ve elastik yapısı nedeniyle hassas yapılardır. Yerüstü veya yeraltı barajlarında imalat sonrası işlemlerden (örnekleme ve test sondajları, üstten tıraşlama, başlık betonu atılması vb.) hasar görmeden geçirimsizlik görevini sürdürmesi gerekir. Perdenin derinliğinin test edilmesi ve karot örnekleri alınması amacıyla yapılan sondajlamada çap mümkün olduğunca dar tutulup, perde ortasında açılmalı ve böylece perdeyi mümkün olduğu kadar az örseleyerek işlemler tamamlanmalıdır (Şekil 4) Laboratuvarda karot örnekleri üzerinde yapılan permeabilite testlerine tamamlayıcı olarak sondaj deliklerinde serbest permeabilite deneyi yapılabilir, ancak kesinlikle basınçlı su deneyi yapılmamalıdır. İşlemler tamamlandığında sondaj delikleri perde imalatında kullanılan karışım ile doldurulmalıdır.



Şekil 4. Plastik beton perdede sondaj işlemi (a) ve alınan karotlar (b) (Foto: A.Apaydın).

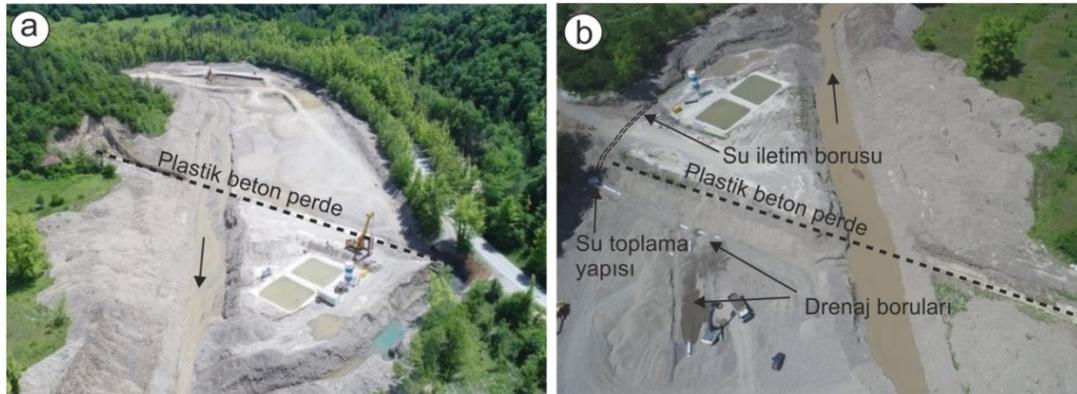
### 5.3. Suyun Derlenmesi ve Alınması İşlemlerinde

Perdenin geçirimsizliği tescil edildikten sonra, üst kısmında kret boyunca yapılan tıraşlama ve başlık betonunun atılması sırasında gerekli özen gösterilmelidir. Bunun için perdenin üst kısmı, her iki yanında boylu boyunca sığ bir kazı yapılarak açığa çıkarılıp, gerekiyorsa üstten tıraşlanarak başlık içine alınır. Bu işlemler perdenin geri kalan kısmına zarar vermeden yapılmalıdır (Şekil 5).

Yeraltı barajlarında plastik beton geçirimsizlik perdesinin güvenliği için diğer bir konu cazibeli projelerde drenaj kanallarının kazılması ve iletim borularının mansap bölgesine geçirilmesidir. Bu tür projelerde perde gerisinde drenaj borusu döşemek amacıyla hendekler açılırken perde ile temas edilmemelidir. Bunun için topoğrafik ve hidrolik eğim dikkate alınarak kolektör dren perdenin sağ veya sol ucuna doğru yönlendirilmeli, kolektör drende toplanan suyun uygun çapta boru ile mümkünse plastik beton perdeyi kesmeden perde dışında ana kayada kazı yapılarak (Şekil 6), bu mümkün değilse perdede çok dikkatli bir şekilde küçük bir kapı açılarak mansaba geçirilmesi önerilir. Bunu yaparken dikkatli olunması, boru dışında bir açıklık bırakılmaması veya geçiş yerinin etrafının betonla korumaya alınması gerekebilir.



Şekil 5. Plastik beton perdenin üst kısmının tıraşlanarak düzeltilmek üzere açığa çıkarılması (Foto: A.Apaydın).



Şekil 6. Bartın-Bahçecik yeraltı barajında plastik beton imalatının mansaptan görünüşü (a) ve drenaj borularıyla toplanan suyun ana kayada sandık yarma yapılarak plastik beton perde dışından geçirilmesi (b) (foto: [www.sabah.com.tr](http://www.sabah.com.tr), erişim tarihi 14.02.2022).

#### 5.4. İşletme Süresince

Yukarıdaki işlemlerin haricinde plastik beton perdenin taşkınlarda yüksek debili ve yüksek basınçlı suya karşı da korunması gerekir. Yeraltı barajlarında yerüstündeki yapılar ve plastik perdenin zarar görmemesi ve akarsuyun rahat bir şekilde akması için yatak düzenlemesi ve perde üzerinden geçişte savak yapısı inşa edilir. Ancak taşkın zamanlarında yüksek debili ve yüksek basınçlı su nedeniyle bu yapıların zarar görme ihtimali vardır. Örneğin, homojen toprak dolgu gövde tipindeki Kalecik-Malıboğazı yeraltı barajının inşasından kısa bir süre sonra meydana gelen taşkında yerüstünde bulunan gözlem kuyusu ve yol geçişi altındaki büzler zarar görmüştür. Kretin talvegden 2 m aşağıda olması sayesinde taban oyulması gövdeye kadar inmemiştir.

Plastik beton perde gömülü olmasına ve üzerinde koruyucu başlık betonu olmasına rağmen şiddetli taşkınlarda taban oyulması nedeniyle yırtılma sonucu zarar görmesi söz konusu olabilmektedir. Buna karşı ilave tahkimat yapılarak riskin en aza indirilmesi gerekir. Buna ek olarak tesislerin işletme ömrü boyunca sürekli olarak izlenmesi, gerektiğinde tamir-bakım işlemlerinin yapılarak faydalı ömrünün mümkün olduğunca uzatılması önem taşımaktadır.

Terfili projelerde perde gerisinde kuyuların bataklık içinde kalmaması için pompa barakalarının ayaklar üzerinde yükseltilmesi, barakalara ulaşım yollarının dolgu üzerinde inşa edilmesi gerekebilmektedir.

#### 6. Sonuç ve Öneriler

Barajlarda veya diğer uygulamalarda plastik beton geçirimsizlik perdesinin başarısında öncelikle hendek stabilitesinin korunması ve betonun istenen boyut ve standartta imal edilmesidir. İmalat sonrasında yapılan kontrol çalışmalarında perdede standart, sözleşme veya içtihatlarla uymayan ve aynı zamanda kabul edilebilir sınırlar dışına çıkan herhangi bir yerel veya bölgesel problem tespit edildiğinde o panellerin yeniden inşası gerekir. Türkiye’de yerüstü barajları için eskiden beri geçerli olan bu uygulama yeraltı barajları için de söz konusudur. Başka bir ifadeyle, yeraltı barajlarında plastik perdenin projelendirilmesi, inşaatı ve geçirimsizlik performans testleri yerüstü barajlarındaki gibidir. Ancak, perde yerüstü barajlarında ya batardo ya da gövde altında gömülü olduğundan dış etkenlere karşı koruma altındadır. Yeraltı barajlarında ise genellikle talveg seviyesine kadar çıktığından taşkınlarda karşı korunacak şekilde önlemler alınmalıdır.

Yeraltı barajlarında yerüstü barajlarında olduğu gibi yerüstünde bir göl olmadığından, perdeye olan hidrostatik basınç yüksek değildir. Bu durumda perde içindeki çok küçük çaplı gözeneklere daha az baskı oluşturduğundan geçirimsizlik yönünden avantaj sağlamaktadır. Yeraltı barajlarındaki plastik beton perdenin geçirimsizliği konusunda tercihan yerüstü barajlarında geçerli

olan ideal koşullar arzu edilse de, permeabilite katsayısının (K) üst sınırının  $10^{-5}$  cm/s olarak kabul edilebileceği kanaatine varılmıştır. Ancak tamamlayıcı olarak perde derinliği ve yanal devamlılığının sağlanmış olması, menba-mansap arasındaki hidrolik bağlantının kesilip kesilmediğini test etmek amacıyla pompaj deneyleri yapılması, menba ve mansap bölgedeki gözlem kuyularında makul bir süre su seviyeleri izlenerek, elde edilen bütün verilerin birlikte değerlendirilmesiyle sonucu varılması uygun olacaktır.

Dünyada son 30 yıldır kalın ve geniş akiferlerde daha öncekilere göre daha büyük boyutlu yeraltı barajları inşa edilmiştir. Ancak ne yazık ki literatürde yeraltı barajları ile ilgili yayınlar azdır. Erişilebilenlerin çoğu tanımlayıcı veya yer seçimine yönelik modelleme çalışmalarıdır. Japonya, Hindistan, Brezilya ve kısmen de Kore’de inşa edilen bazı yeraltı barajları hakkında sınırlı da olsa erişilebilen yayınlar mevcuttur. Son yıllarda bu ülkelere Türkiye de katılmıştır. 21. Yüzyılın ilk 15 yılında inşa edilen yeraltı barajları ile ilgili bazı yayınlar (Apaydin 2009, 2014, 2016ab, 2019) yapılmıştır. Bu yayınlar inşa edilen yeraltı barajlarının yer seçimi, projelendirme, inşaat ve işletme konularında bilgiler vermektedir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2019 yılında “Cumhuriyetin 100. Yılında 100 Yeraltı Barajı” adı altında uygulamaya koyduğu 4 yıllık eylem planıyla çeşitli gövde tipi ve su alma yöntemine sahip yeraltısuyu barajları ve yeraltısuyu yapay besleme tesisleri inşa etmektedir. Türkiye’dekiler de dâhil olmak üzere dünyanın neresinde inşa edilirse edilsin, bu tür uygulama projelerine ait proje, inşaat ve işletme bilgileri ve deneyimlerin sektör ve kamuoyu ile paylaşılması önem taşımaktadır. Özellikle de plastik beton yönteminin dünyada yeraltı barajlarında uygulamasının az olması ve Türkiye’de yeni uygulanmaya başlaması nedeniyle, yapılacak yeni yayınlar hem ülke hem de dünya literatürüne katkı sağlayacaktır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Akman, SB. (2001). Aşağı Çekerek Projesi Süreyyabey Barajı slurry trench uygulaması, 50 s, DSİ Genel Müd (yayımlanmamış rapor) Ankara.
- Alp, ÖK., Büyükçoban, H., Pelen, GM. (2014). Bulamaç hendeği yöntemi ile geçirimsizlik perdesi imalatı, Aslancık barajı ve HES örneği. 2. Barajlar Kongresi, 13-15 Şubat, İstanbul, 7-11.
- Apaydin, A. (2022). Multi-parameter analysis for impermeability performance of slurry wall under dams: Two case studies in central Turkey; *Arabian Journal of Geosciences* (2022) 15:11.
- Apaydin, A., Zengin E. (2016). A combined surface and groundwater storage project: the Elmadag dam, Turkey, *Quarterly Journal of Eng. Geology and Hydrogeology*, (Technical Note) doi:10.1144/qjegh2015-096, Vol. 49, pp. 237-243.

- Apaydın, A. (2014). *Yer seçiminden işletmeye yeraltı barajları*, DSİ Genel Müdürlüğü Destek Hiz. Daire Başkanlığı Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü ISBN:978-605-64763-0-3, web:<http://www.dsi.gov.tr/docs/yayinlarimiz>.
- Balian, S. (2007). Cut-off wall construction (Peribonka Dam). *International Water Power and Dam Construction*, 59(2): 42–44.
- Boyes, RGH. (1975). *Structural and cut-off diaphragm walls*. John Wiley and Sons, New York-Toronto, p. 181.
- Bureau of Reclamation (2014). *Design Standards No. 13 Embankment Dams Chapter 16: Cutoff Walls Phase 4 Final*, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 122 p.
- Çakır, EN., Ünsever, YS. (2019). *Büyükkuşla barajı'nda bulamaç hendeği yöntemi ile geçirimsizlik perdesi uygulaması ve sızma analizi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 23, Sayı 3, 974-980.
- D'Appolonia DJ., Ryan , CR. (1979). Soil-bentonite slurry trench cutoff walls. *Proceedings, Geotechnical Exhibition and Technical Conference*, Chicago, Illinois, March 26, [www.geo-solutions.com/tech-papers/pdf/slurrywallpdf04.pdf](http://www.geo-solutions.com/tech-papers/pdf/slurrywallpdf04.pdf).
- D'Appolonia, DJ. (1980). Soil bentonite slurry trench cutoffs, Journal of the Geotechnical Engineering Division, *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, Vol. 1, 106, No. 614.
- Davidson, RR., Levallois, J and Graybeal, K. (1992). Seepage cutoff walls for mud mountain dam. In *Slurry walls: design, construction, and quality control*. ASTM Special Technical Publication No. 1129. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, Pa. pp. 309–323.
- Davidson, RR., Denise, G., Findlay, B., Robertson, RB. (1992). *Design and Construction of a Plastic Concrete Cutoff Wall for the Island Copper Mine*, *Slurry Walls: Design, Construction and Quality Control*, STP 1129, David B. Paul, Richard R. Davidson and Nicholas, J. Cavalli, Eds., ASTM, Philadelphia, PA, 271-288.
- DOD ETC (1994). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide-Second Edition*, DOD Environmental Technology Transfer Committee, [www.frtr.gov, http://207.86.51.66/download/remed/remtech.exe](http://207.86.51.66/download/remed/remtech.exe).
- Evans, JC., Costa, M., Cooley, B. (1995). The State of Stress in Soil-Bentonite slurry trench cutoff walls, ASCE Specialty Conference on Characterization, Containment, Remediation and Performance in Environmental Geotechnics, *The Geoenvironment 2000*, ASCE Geotechnical Special Publication No. 46.
- Evans, JC., Huang, H. (2016). Hydraulic Conductivity of Soil-Bentonite slurry walls, Conference: Geo-Chicago 2016, August 14–18, 2016, Chicago, Illinois, DOI: [10.1061/9780784480144.054](https://doi.org/10.1061/9780784480144.054), 10 p.
- Fell, R., MacGregor, P., Stopledon D. (1992). *Geotechnical Engineering of Embankment Dams*, Balkema, Rotterdam, 675 p.
- Filz, GM., Mitchell, JK. (1995). Design, construction, and performance of soil- and cement-based vertical barriers, *International Containment Technology Conference*, Ralph R. Rumer and James K. Mitchell, Eds., US DoE, US EPA, and Dupont Company, Baltimore, MD, pp 63.
- Foster, F., Tuinhof, A.(2004). *Brazil, Kenya: Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence*, World Bank Sustainable Groundwater Management Lessons from Practice, 1–8.
- Furman, CA., Spooner, CE., Spooner, PA., Tokarski, EF., Wetzal, RS. (1985). Slurry trench construction for pollution migration control, *Pollution Technology Review*, No. 118, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Noyes Publications, Park Ridge, NJ.
- Hanson, G. and Nilsson, A. (1986). Groundwater dams for rural-water supplies in developing countries. *Ground Water*, vol 24, no:4, 497-506.
- Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S. and Imaizumi , M. (2011). Sustainable use of groundwater with underground dams, *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45 (1): 51-61.
- Ishida, S., Kotoku, M., Abe, E., Fazal, M.A., Tsuchihara, T., Imaizumi, M. (2003). Construction of subsurface dams and their impact on the environment, *RMZ - Materials and Geoenvironment*, 50, 149–152.
- JGRA (2004). *Technical Reference for Effective Groundwater Development*, Japan Green Resources Agency (J-Green), <http://www.green.go.jp>.
- JGRC (2003). *History of underground dam construction in Miyakojima*, Japan Green Resources Corporation, Tokyo, 609p, (in Japanese).



- JGRC (2001). *Underground dams for agricultural use in subtropical region*, Report on an Agricultural Land Conservation Project in the Miyako Region, Japan Green Resources Corporation, Tokyo, 24 p.
- Karaoğullarından, T., Özügüzel, N., Akcanbaş, N. (1977). Alüvyonda bulamaç hendeği (slurry trench) yönetimiyle sızdırmazlık perdesi yapımı ve Aslantaş barajındaki uygulaması, *Jeoloji Mühendisliği*, Cilt 1, Sayı 3, 28 – 35.
- Millet, RA., Perez, J. (1981). Current USA Practice: Slurry wall specifications, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 107,, Issue 8, 1041-1056.
- Millet, RA., Perez, JY., Davidson, RR. (1992). USA practice slurry wall specifications 10 years later. Slurry walls: Design, construction, and quality control, ASTM STP 1129, Paul, Davidson and Cavalli, Eds., *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA, 42-68.
- Nagata, S., Enami, N., Nagata, J., Katho, T. (1993). *Design and construction of cutoff walls for subsurface dams on Amami and Ryukyu islands in the most southwestern part of Japan*, IAH Selected Papers on Environmental Hydrogeology, 4, 229–245
- Nagata, S., Azuma, K., Asano, M., Nishijima, T., Shiiba, H., Yang, DS., Nakata, R. (1994). Nakajima subsurface dam. *Proceedings of 21st Annual Conference*, Sponsored by the Resources Planning and Management Div./ASCE May 23-26, Denver, Colorado.
- Nilsson, A. (1988). *Groundwater dams for small-scale water supply*, Intermediate Technology Publications Ltd. London, pp. 69.
- Nohut, FM. (2010). *Yedigöze barajı ve hidroelektrik santrali inşaatında geçirimsiz perde duvar (slurry-trench) uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, jeoloji Mühendisliği ABD, 155 s.
- Opdyke, SM., Evans, JC. (2005). Slag-Cement-Bentonite Slurry Walls, *Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, 131:6, 673-681.
- Önal, FC. (2018). *Geçirimsizlik perdesi yapım yöntemleri ve Sulakyurt barajı slurry trench (bulamaç hendeği) uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 128 s.
- PCA (1984). *Cement-Bentonite slurry trench cutoff walls*, Portland Cement Association, 12 p. [www.cement.org.tr](http://www.cement.org.tr)
- Raju, NJ., Reddy, TVK., Munirathnam, P. (2006). Subsurface dams to harvest rainwater - a case study of the Swarnamukhi River basin, Southern India, *Hydrogeology Journal*, 14(4), 526–531.
- Ryan, CR. (1984). Slurry cutoff walls: Applications in the control of hazardous wastes, *Hydraulic Barriers in Soil and Rock*, STP 874, A.I. Johnson, R.K. Frobels, N.J. Cavalli, C.B. Pettersson, Eds., ASTM, Denver, CO, pp. 9-23.
- Ryan, CR., Day, SR. (2003). Soil-bentonite slurry wall specifications, *Pan American Conference on Soils Mechanics & Geotechnical Engineering*, ASCE Geo-Institute and MIT, Cambridge, MA, 8 p.
- Tosun, H., Ünal, SM., Türköz, M. (2002). Dolgu barajlarda bulamaç hendeği yöntemi ile plastik beton perde inşası ve bir uygulama, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Bildiriler Kitabı, 21-22 Ekim 2002, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 484-497.
- Tsai, J.-S., Jou, L.-D., Hsieh, H.-S. (2000). A full-scale stability experiment on a diaphragm wall trench, *Geotechnical Journal*, vol. 37, no. 2, pp. 379–392.
- URL-1: Youtube, 3D Suludere Yeraltı Barajı ve Sulaması / Kiraz / İzmir, [www.Youtube.Com](https://www.youtube.com/watch?v=...): (Erişim tarihi: 14.02.2022)
- URL-2: [www.trthaber.com](http://www.trthaber.com). Kuraklık yer altı barajlarını artırıyor, (Erişim tarihi, 14.02.2022)
- Ünsever, YS. (2007). *An analysis of deformation behaviour of Muratlı asphalt faced rockfill dam*, *Yüksek Lisans Tezi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 112 p.
- Washbourne, J. (1984). The three-dimensional stability analysis of diaphragm wall excavations, *Ground Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 24–29.
- Wong, GCY. (1984). Stability analysis of slurry trenches, *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 110, no. 11, pp. 1577–1590.
- Xanthakos, PP. (1979). *Slurry Walls*, McGraw-Hill, Inc., New York, NY.

## Malatya İli ve İlçelerinde Çevresel Gama Radyasyonunun Ölçümü, Doz Hızı ve Ömür Boyu Kanser Riski Değerlendirmesi

Halime KAYAKÖKÜ<sup>1\*</sup>

### Öz

Bu çalışmada, Malatya ilinde, 15 farklı noktada, gama doz hızı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, her noktada hem yerde hem de yerden 1 m yükseklikte alınmıştır. Gama doz hızı ölçümleri NaI (TI) kristaline sahip taşınabilir bir sintilasyon sayacı kullanılarak yapılmıştır. Gama doz hızlarına ( $D_R$ ) ek olarak, yıllık etkin doz oranları (YEDO) ve ömür boyu kanser riski (ÖBKR) değerleri de hesaplanmıştır. Yerden 1 m yükseklikte  $D_R$ , YEDO ve ÖBKR için elde edilen ortalama değerler, sırasıyla, 48,47 nGy/h, 58,18  $\mu$ Sv/y ve  $0,21 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada sunulan sonuçlar, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan benzer çalışmaların sonuçları ve UNSCEAR tarafından verilen dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sintilasyon sayacı, Gama doz hızı, Yıllık etkin doz, Kanser riski.

## Environmental Gamma Radiation Measurement, Dose Rate and Lifetime Cancer Risk Assessment in Malatya Province and its Districts

### Abstract

In this study, gama dose rate measurements were made at 15 different points in Malatya. Measurements were taken at each point both on the ground and at a height of 1 m above the ground. Gamma dose rate measurements were made using a portable scintillation counter with a NaI (TI) crystal. In addition to gamma dose rates ( $D_R$ ), annual effective dose rates (YEDO) and lifetime cancer risk (ÖBKR) values were also calculated. The mean values obtained for DR, YEDO and ÖBKR at 1 m above the ground were calculated as 48.47 nGy/h, 58.18  $\mu$ Sv/y and  $0.21 \times 10^{-3}$ , respectively. The results presented in this study were compared with the results of similar studies conducted in different regions of Turkey and the world average values given by UNSCEAR.

**Keywords:** Scintillation counter, Gamma dose rate, Annual effective dose, Cancer risk.

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Bitlis, Türkiye, hkayakoku@beu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4036-4012>

## 1. Giriş

Canlıların hayatlarında çevrenin oldukça önemli bir yeri olup, çevrede canlıların hayatlarını etkileyen çok önemli faktörler bulunmaktadır. Bunlardan biri de, radyoaktivitedir. Canlılar, buldukları çevreden sürekli doğal radyoaktiviteye maruz kalmaktadırlar. Doğal radyoaktivite, kozmik ışıklardan, yer kabuğundan, yapı malzemelerinden, kayaların minerolojik yapısından, sular ve insan bedenindeki radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanmaktadır. Doğal radyasyon, çevrede bulunan radyoaktivite kaynaklarının miktarına bağlı olup, bu da, insanların maruz kaldıkları radyasyon dozu seviyesine katkıda bulunmaktadır. Maruz kalınan doz miktarı, çevrenin coğrafik ve jeolojik yapısına bağlı olarak değiştiğinden, yeryüzündeki farklı toprak tipleri için de farklılık göstermektedir. Doğal radyoaktiviteye, nükleer silah denemeleri, nükleer kazalar, bazı radyolojik araştırmalar ve radyoterapiden kaynaklanan yapay radyoaktivite de eklenmektedir. Çevresel radyoaktivite, eğer belirlenen sınır değerleri aşıyorsa, bu durum, canlılar için tehlike arz edebilmektedir. Açık havada dış maruziyet, tüm toprak türlerinde eser seviyelerde bulunan karasal radyoçekirdeklerden kaynaklanmaktadır (Faraj ve ark. 2006). Maruz kalınan radyoaktif elementler, genellikle, doğal radyoaktivite için,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  iken; yapay radyoaktivite için ise,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{239+240}\text{Pu}$  gibi elementlerdir (Bal ve ark. 2018; Karatepe ve Kuluöztürk, 2019).

Gama doz hızı ( $D_R$ ), potansiyel olarak radyasyona maruz kalan bir birey üzerinde, birim zaman başına, radyasyon enerjisinin miktarını ölçerek, radyasyon risk değerlendirmesinde kullanılmaktadır (Beretka ve Mathew, 1985; UNSCEAR, 2000).

Çevresel radyasyon konsantrasyonu ölçümleri ve canlılar üzerindeki etkilerini görebilmek adına yapılan çalışmalar, son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır (Karahan ve Bayülken, 1999; Ereeş ve ark. 2005; Taşkın, 2006; Kam ve ark. 2010; Al-Azmi, 2013; Bal ve Karatepe, 2015; Karataşlı, 2018; Ononugbo ve Anekwe, 2020; Olagbaju ve ark. 2021).

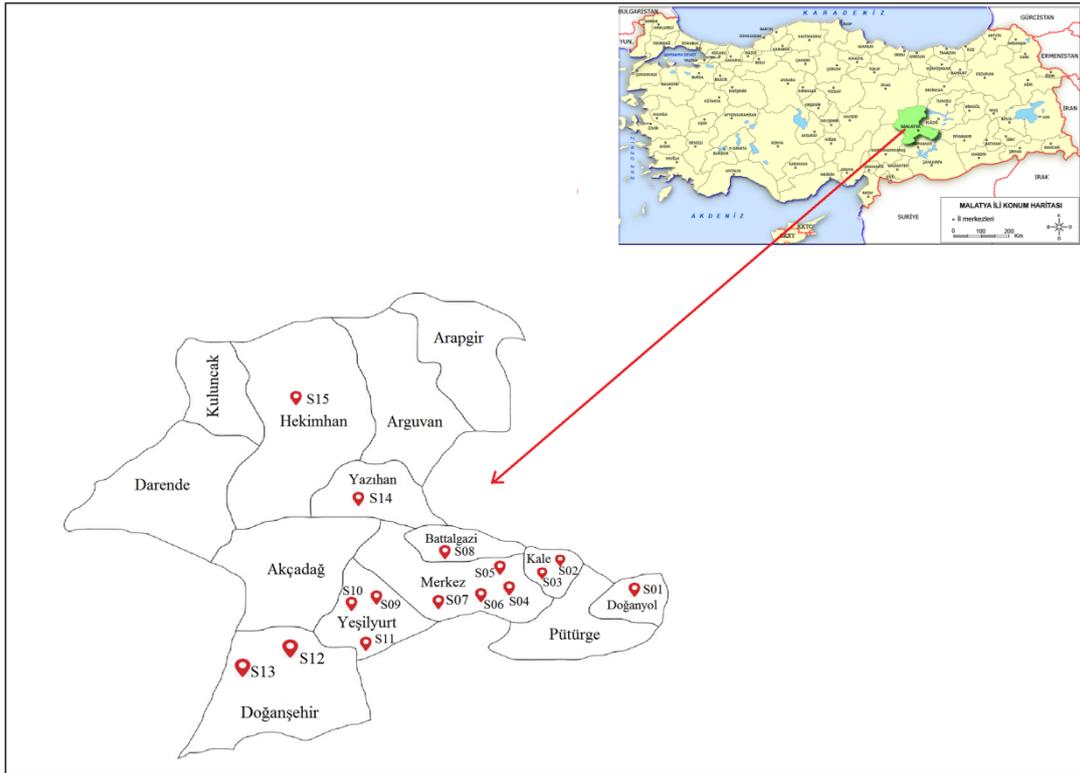
Bir bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı olup olmadığını, radyasyonun oluşturduğu riskleri ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini belirleyebilmek ve radyasyondan korunmak amacıyla çevresel gama radyasyon ölçümleri yapılmaktadır. Bu amaçtan yola çıkılarak, bu çalışmada, Malatya'da bazı bölgelerde, 15 farklı noktada, karasal dış mekân gama doz hızı ölçümleri yapılarak, bu bölgelerde yaşayan halk için ilişkili radyasyon riski belirlenmeye çalışılmış ve elde edilen radyasyon seviyeleri karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Malatya, Türkiye'nin doğusunda yer almakta olup, il topraklarının yüzölçümü 12.313 km<sup>2</sup>'dir. 37° 54' ve 39° 03' kuzey enlemleri ile 38° 45' ve 39° 08' doğu boylamları arasında kalmaktadır. Bölgede her türden toprak örneği görülmekte olup, genellikle, kahverengi topraklar geniş yer kaplamaktadırlar. Güney ve güneybatı bölümü ise, kırmızı kahverengi topraklarla kaplıdır. Kahverengi orman toprakları ise, bölgenin kuzeybatısında sınırlı alanlarda görülmektedir. Bölge, hareketli bir tektonizma kuşağı üzerinde yer almakta olup, bölgeden hala aktif olan fay hatları da geçmektedir (Saroğlu ve Güner, 1981). Bölgedeki en yaşlı yapılar, Malatya Metamorfikleridir. Bu yapılar genellikle, şist, fillat, rekristalize kireçtaşı, kalkışist ve dolomitten oluşmaktadırlar.

Şekil 1'deki haritada, Malatya'da ölçümlerin yapıldığı farklı noktalar gösterilmektedir. Bu noktalar, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) navigasyonu kullanılarak işaretlenmiştir.



Şekil 1. Malatya ili ve ilçelerinde ölçüm yapılan noktalar

Bu çalışmada, Malatya ilinde, farklı bölgelerde 15 farklı noktada, açık havada gama doz hızı ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan bölgeler, konum kodları ve koordinatları Tablo 1'de verilmiştir. Ölçümler, her noktada, yerde ve yerden 1 m yükseklikte 2 dakika süreyle alınmıştır. Her

nokta için 5 tekrarlı olarak gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Detektör tarafından  $\mu\text{Sv/h}$  olarak ölçülen sonuçlar, açık havada maruz kalınan gama ışınlarının etkisini belirleyebilmek için, birim dönüşümü yapılarak,  $\text{nGy/h}$  olarak, Tablo 2’de ve Şekil 3 ile Şekil 4’te verilmiştir.

Çevresel gama doz hızı ölçümleri, taşınabilir LUDLUM Model 2241 Dijital Ölçekleyici/Ratemetre + LUDLUM Model 44-10 Probtan oluşan  $2" \times 2"$  NaI (TI) kristaline sahip sintilasyon sayacı kullanılarak yapılmıştır (LM, 2007). Şekil 2’de taşınabilir gama radyasyonu ölçüm cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2. Ludlum model 2241 dijital taşınabilir gama ölçüm cihazı

**Soğurulan gama radyasyon doz hızı ( $D_R$ );** dış ortamda bulunan radyoaktif kaynaklardan yayınlanan gama radyasyonunun canlıların sağlığı açısından oluşturdukları risk, yerden 1m yükseklikte ölçülen soğurulan gama radyasyon doz hızı ( $D_R$ ) ile ifade edilmektedir.

**Yıllık etkin doz oranı (YEDO)** ise; canlıların çeşitli radyasyon kaynaklarından bir yıl boyunca aldıkları tahmini ortalama etkin doz oranıdır. YEDO değerleri Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (EC, 1999; UNSCEAR, 2000; Turhan ve ark. 2012);

$$YEDO (\mu\text{Sv/y}) = D_R \times 8760 (h/y) \times 0,2 \times 0,7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-3} \quad (1)$$

Yıllık etkin doz oranı hesaplamaları için, havada soğurulan dozun dönüşüm katsayısı 0,7 Sv/Gy olup, bu değer hem iç hem de dış ortam hesaplamalarında değişmemektedir. İnsanların zamanının %80’ini kapalı, kalan %20’sini de açık ortamlarda geçirdikleri göz önünde bulundurulursa, bina içi meşguliyet faktörü 0,8 ve bina dışı meşguliyet faktörü ise, 0,2 olarak

alınmaktadır (UNSCEAR, 2000). İnsanlar için dış ortam yıllık etkin dozunu değerlendirirken, dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri bina dışı meşguliyet faktörüdür. 8760 h/y ise, bir yıldaki saat sayısıdır.

Dünya ortalama yıllık etkin doz oranı (dış karasal gama radyasyonundan) 460  $\mu\text{Sv/y}$  'dır (UNSCEAR, 2000).

Canlıların doğal veya yapay radyasyon kaynaklarından ömürleri boyunca maruz kaldıkları radyasyona bağlı olarak oluşabilecek ömür boyu kanser riski (ÖBKR), ışınlanan canlının aldığı radyasyon dozu miktarına bağlı olup, ÖBKR değerleri de aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Thabayneh ve Jazzar, 2007; Kayakökü, 2018);

$$\text{ÖBKR} = \text{YEDO} \times \text{YS} \times \text{RF} \quad (2)$$

Burada, *YEDO*, *YS* ve *RF*; sırasıyla, yıllık efektif doz oranı ( $\mu\text{Sv/y}$ ), yaşam süresi (ortalama 70 yıl) ve risk faktörü (1/Sv) (Sievert başına ölümcül kanser riski ) olup, *RF* için ICRP-60,  $5 \times 10^{-2}$  1/Sv değerini kullanmaktadır (Thabayneh ve Jazzar, 2007; ICRP, 1990).

**Tablo 1.** Ölçüm yapılan bölgeler, konum kodları ve koordinatları

Bölge	Konum kodu	Koordinatlar	
		Enlem	Boylam
Doğanyol - Merkez	S01	38°18'42,9"K	39°02'14,4"D
Kale - Soğukpınar	S02	38°24'20,7"K	38°45'11,2"D
Kale - Erenli Köyü	S03	38°21'07,0"K	38°39'37,5"D
Battalgazi - İspendere Köyü	S04	38°21'13,8"K	38°34'27,7"D
Battalgazi - Kapıkaya Mah	S05	38°21'56,7"K	38°34'27,3"D
Malatya İnönü Üniversitesi Kampüs	S06	38°19'59,3"K	38°25'57,5"D
Battalgazi - Venk Köyü	S07	38°19'55,2"K	38°22'05,7"D
Battalgazi - Orduzu	S08	38°22'13,9"K	38°20'46,9"D
Organize Sanayi Bölgesi	S09	38°21'03,8"K	38°11'52,7"D
Yeşilyurt - Duruldu Mahallesi	S10	38°19'22,2"K	38°09'39,3"D
Yeşilyurt - Gündüzbey	S11	38°16'59,0"K	38°15'41,5"D
Doğanşehir - Çılgık Köyü	S12	38°07'00,4"K	37°55'00,6"D
Doğanşehir - Merkez	S13	38°05'20,9"K	37°52'40,7"D
Yazihan - Merkez	S14	38°34'36,1"K	38°09'57,7"D
Hekimhan - Merkez	S15	38°53'01,3"K	37°53'52,4"D

### 3. Bulgular ve Tartışma

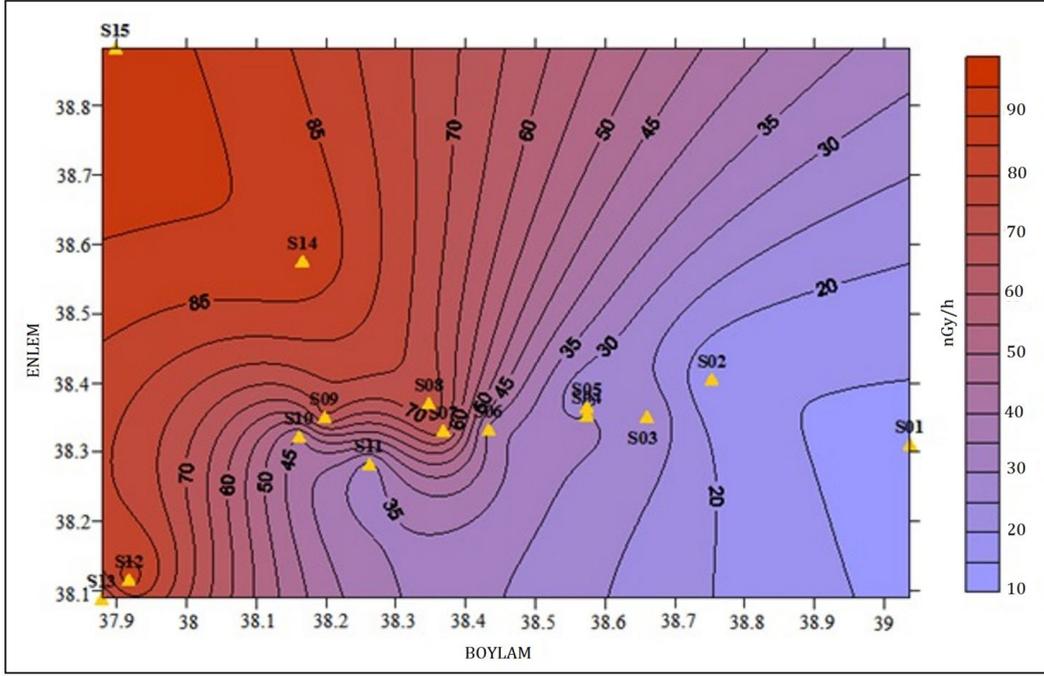
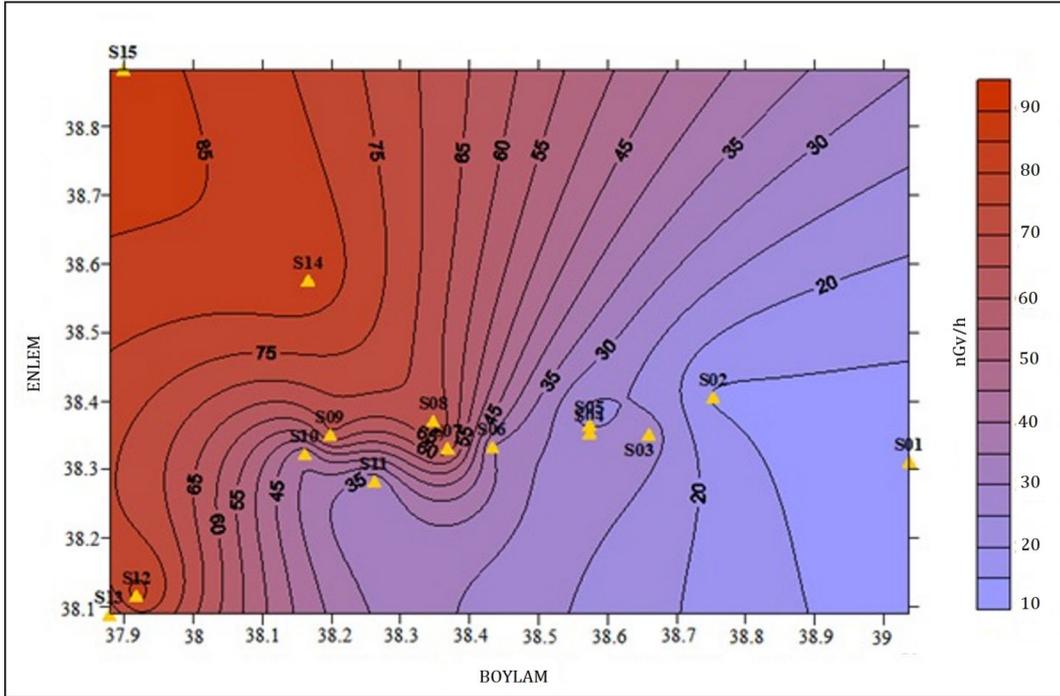
Ölçümler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen  $D_R$  değerleri, Tablo 2 ile Şekil 3 ve Şekil 4'te verilirken; YEDO ve ÖBK R değerleri ise, Tablo 2 ile Şekil 5'te ve Şekil 6'da verilmiştir.

**Tablo 2.** Ölçümler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen  $D_R$ , YEDO ve ÖBK R değerleri

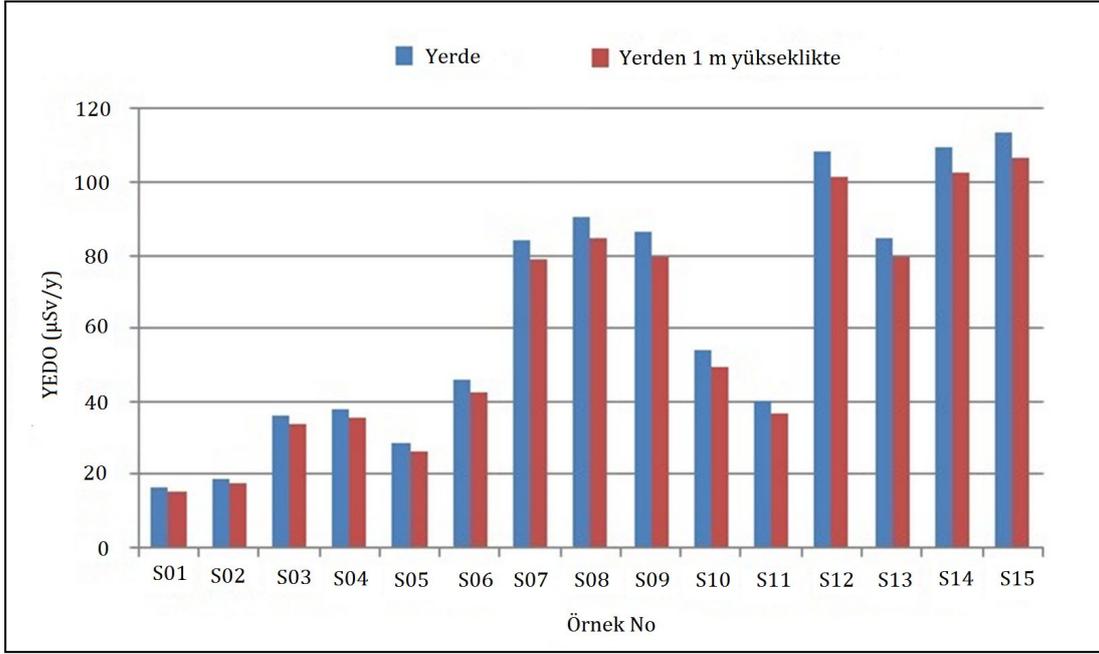
Konum kodu	$D_R$ (nGy/h)		YEDO ( $\mu$ Sv/y)		ÖBK R ( $\times 10^{-3}$ )	
	Yerde	Yerden 1 m yükseklikte	Yerde	Yerden 1 m yükseklikte	Yerde	Yerden 1 m yükseklikte
S01	13,62	12,50	16,70	15,33	0,06	0,05
S02	15,45	14,25	18,95	17,48	0,07	0,06
S03	29,70	27,63	36,42	33,89	0,13	0,12
S04	31,10	29,10	38,14	35,70	0,13	0,13
S05	23,15	21,50	28,39	26,37	0,10	0,09
S06	37,80	34,71	46,26	42,57	0,16	0,15
S07	68,70	64,30	84,25	78,86	0,30	0,28
S08	73,94	69,13	90,68	84,78	0,32	0,30
S09	70,55	65,00	86,52	79,72	0,30	0,28
S10	44,15	40,46	54,15	49,62	0,19	0,17
S11	32,64	30,10	40,03	36,92	0,14	0,13
S12	88,40	82,86	108,41	101,62	0,38	0,36
S13	69,26	64,91	84,94	79,61	0,30	0,28
S14	89,25	83,77	109,46	102,74	0,38	0,36
S15	92,65	86,80	113,63	106,45	0,40	0,37
Min.	13,62	12,50	16,70	15,33	0,06	0,05
Max.	92,65	86,80	113,63	106,45	0,40	0,37
a	52,02	48,47	63,80	58,18	0,22	0,21
b	-	59	-	73,6	-	0,29

<sup>a</sup> Bu çalışma için ortalama değer

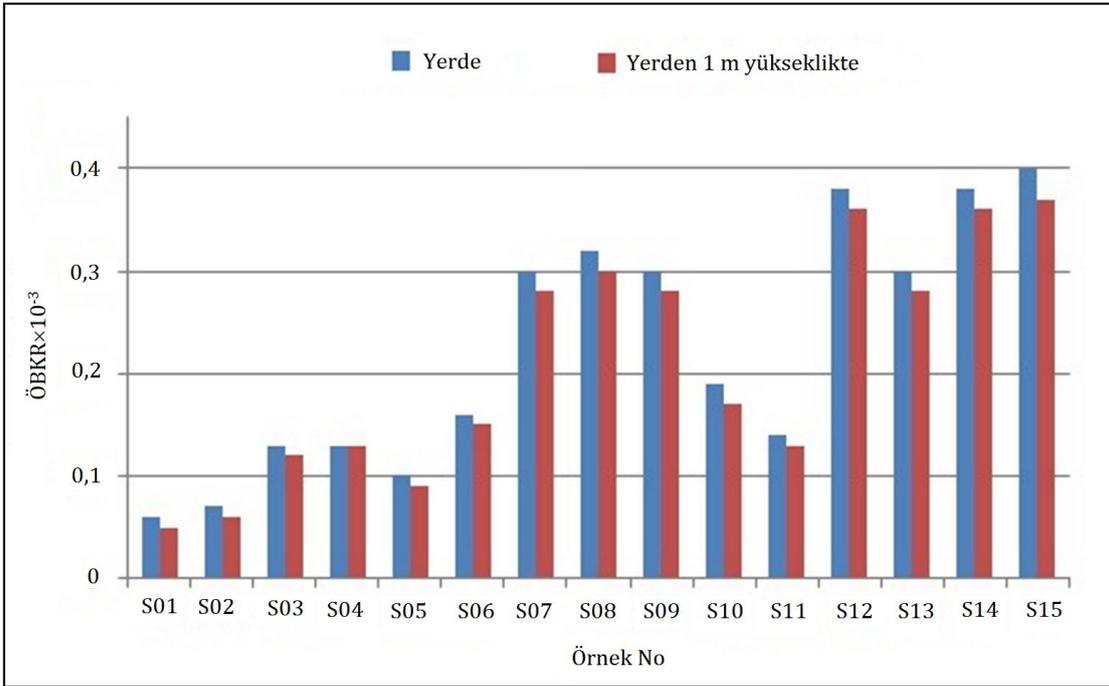
<sup>b</sup> Dünya ortalaması (UNSCEAR, 2000)

Şekil 3. Yerde ölçülen  $D_R$  değerlerinin dağılım grafiğiŞekil 4. Yerden 1 m yükseklikte ölçülen  $D_R$  değerlerinin dağılımı





Şekil 5. Yerde ve yerden 1 m yükseklikte hesaplanan YEDO değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Yerde ve yerden 1 m yükseklikte hesaplanan ÖBKR değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi; soğurulan gama doz hızı ölçümleri için, yerde ölçülen değerler, yerden 1 m yükseklikte ölçülen değerlerden daha yüksektir. Yerde ve yerden 1 m yükseklikte ölçülen  $D_R$  değerleri için maksimum değer, 92,65 nGy/h olarak Hekimhan-Merkez'de yerde, minimum değer ise, 12,50 nGy/h olarak Doğanyol-Merkez'de yerden 1 m yükseklikte ölçülmüştür. UNSCEAR (2000) raporuna göre,  $D_R$  için dünya ortalama değeri, 59 nGy/h'tır (UNSCEAR, 2000). Bu çalışmada,  $D_R$  için hesaplanan ortalama değer, 48,47 nGy/h olup, bu değer dünya ortalama değerinin altındadır.

Yıllık efektif doz oranı için, maksimum değer 113,63  $\mu\text{Sv/y}$  ile Hekimhan-Merkez’de yerde, minimum değer ise, 15,33  $\mu\text{Sv/y}$  ile Doğanyol- Merkez’de yerden 1m yükseklikte hesaplanmıştır. YEDO için dünya ortalama değeri,73,6  $\mu\text{Sv/y}$  (UNSCEAR, 2000) olup, bu çalışmada elde edilen ortalama değer ise, 58,18  $\mu\text{Sv/y}$  olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama da, dünya ortalamasının altında kalmaktadır. Fakat S07, S08, S09, S12, S13, S14 ve S15 noktaları için elde edilen YEDO değerleri göz önüne alınırsa, bu değerler, dünya ortalamasını aşmaktadır.

Çalışmada, ömür boyu kanser riski için, yerde hesaplanan en yüksek değer  $0,40 \times 10^{-3}$  ile Hekimhan-Merkez’e ait olup, en düşük değer ise,  $0,06 \times 10^{-3}$  ile Doğanyol-Merkez’e aittir. Ortalama değer ise,  $0,22 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, ÖBKR için, yerden 1 m yükseklikte hesaplanan sonuçlar,  $0,37 \times 10^{-3}$  değeri ile Hekimhan-Merkez’de en yüksek iken,  $0,05 \times 10^{-3}$  değeri ile Doğanyol- Merkez’de en düşüktür. Ortalama değer ise,  $0,21 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen ortalama değerlerin, dünya ortalama değerinden ( $0,29 \times 10^{-3}$ ) düşük olduğu görülmektedir (UNSCEAR, 2000). Fakat S08, S12, S14 ve S15 noktaları için yerden 1 m yükseklikte hesaplanan ÖBKR değerleri, dünya ortalama değerinin üzerindedir. Tablo 3’te, bu çalışma için elde edilen ortalamalar, literatürde yer alan benzer çalışmalar için elde edilen ortalamalarla karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.** Bu çalışma için elde edilen ortalamaların, literatürdeki benzer çalışmalarda elde edilen ortalamalarla karşılaştırılması

Bölge	$D_R$ (Gy/h)	YEDO ( $\mu\text{Sv/y}$ )	ÖBKR ( $10^{-3}$ )	Kaynaklar
İstanbul	65	79,7	-	(Karahana ve Bayulken, 2000)
Kırklareli	71,0	87,0	0,51	(Taskin ve ark. 2009)
Trabzon	59	72,4	-	(Kurnaz ve ark. 2011)
Yalova	48,89	59,96	0,42	(Kaptan ve ark. 2011)
Tokat	88,92	109,05	-	(Gezelge, 2017)
Hatay	61,9	75,91	-	(Karataşlı, 2018)
Rize	56,9	69,8	-	(Durusoy ve Yıldırım, 2017)
Kahramanmaraş	64,8	79,5	-	(Karataşlı, 2019)
Türkiye	54,6	70,0	-	(TAEA, 2010)
Dünya	59	73,6	0,29	(UNSCEAR, 2000)
Malatya	48,47	58,18	0,21	Bu çalışma

Bu çalışmada,  $D_R$ , YEDO ve ÖBKR için elde edilen ortalamalar, Türkiye ve dünya ortalamalarının yanında, Tablo 3’te gösterilen benzer çalışmalarda elde edilen ortalamalar ile kıyaslanacak olunursa, daha düşük olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Karasal radyasyon, jeolojik oluşumlarla ve çevrenin coğrafi özellikleriyle önemli ölçüde ilişkilidir (UNSCEAR, 2000; Gholami ve ark. 2011). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göz önünde tutulduğu zaman, en yüksek değerlerin S15 (Hekimhan-Merkez) noktası için elde edildiği görülmektedir. Bu değerler aynı zamanda, Tablo 3'te verilen ortalamaların da üzerindedir. S15 noktasının bulunduğu bölge, maden yatakları (manganlı demir cevheri, krom, alçıtaşı, vermikülit, dolomit, florit, linyit, tras, mermer, çimento, jibs) bakımından oldukça zengin olup, bölgede çok sayıda maden ocağı bulunmaktadır. Literatürde bu bölgede yapılan bazı çalışmalar, bölgenin, Uranyum (U) ve Toryum (Th) elementleri bakımından zengin olduğunu göstermektedir (Özgenç ve Kibici, 1994; Öztürk ve ark. 2019; Çimen ve ark. 2020 gibi). Aynı zamanda, bölge yoğun magmatik ve tektonik yapılar içermektedir (Özgenç ve Kibici, 1994). Tüm bu sebeplerden dolayı, S15 noktası için elde edilen sonuçlar, diğer noktalara oranla daha yüksektir.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- Al-Azmi, D. 2013. Performance of some handheld dosimeters used for gamma-ray ambient dose rate measurements. *International Journal of Low Radiation*, 9(2), 95- 109.
- Bal, S. S., and Karatepe, Ş. (2015). Determination of environmental gamma radiation in Bitlis. *The European Physical Journal Web of Conferences*, 100, 04002.
- Bal, S. Ş., Karatepe, Ş., Kuluöztürk, M. F., Yılmaz, E., and Kurşat, M. (2018). The annual change of environmental gamma radiation in Bitlis. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 8(1), 19-23.
- Beretka, J., and Mathew, P. J. (1985). Natural radioactivity of Australia building materials industrial wastes and byproducts. *Health Physics*, 48, 87-95.
- Çimen, O., Corcoran, L., Kuebler, C., Simonetti, S. S., and Simonetti, A. (2020). Geochemical, stable (O, C, and B) and radiogenic (Sr, Nd, Pb) isotopic data from the Eskişehir-Kızılcaören (NW-Anatolia) and the Malatya-Kuluncak (E-central Anatolia) F-REE-Th deposits, Turkey: Implications for nature of Carbonate-Hosted Mineralization. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29, 798-814.
- Durusoy, A., and Yıldırım, M. (2017). Determination of radioactivity concentrations in soil samples and dose assessment for Rize province, Turkey. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10, 348-352.
- European Commission (EC), 1999. Radiation Protection Unit, Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. *Radiation Protection*, 112.
- Ereş, F. S., Aközcan, S., Parlak, Y., Çam, S. (2005). Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiation Measurements*, 41, 598-601.
- Farai, I. P., and Vincent, U. E. (2006). Outdoor radiation level measurement in Abeokuta Nigeria, by Thermoluminescent Dosimetry. *Nigeria Journal Physics*, 18(1), 121-123.
- Gezelge, M. (2017). Tokat-Zile ilçesine ait topraktaki doğal fon radyasyonunun tespiti. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Kastamonu.

- Gholami, M., Mirzaei, S., and Jomehzadeh, A. (2011). Gamma background radiation measurement in Lorestan province, Iran. *International Journal of Radiation Research*, 9(2), 89–93.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, 21, 1–3.
- Kam, E., Bozkurt, A., Ilgar, R. (2010). A study of background radioactivity level for Canakkale. Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168, 685–690.
- Kapdan, E., Varinlioglu, A., and Karahan, G. (2011). Radioactivity levels and health risks due to radionuclides in the soil of Yalova, Northwestern Turkey. *International Journal of Environmental Research*, 5(4), 837-846.
- Karahan, G., and Bayülken, A. (1999). Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). *Journal of Environmental Radioactivity*, 47(1999), 213-221.
- Karahan, G., and Bayulken, A., (2000). Assesment of gamma dose rates around Istanbul. *Journal of Environmental Radioactivity*, 47(2), 213-221.
- Karataşlı, M. (2018). Hatay ve çevresinde çevresel gama radyasyon ölçümü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 780-785.
- Karataşlı, M. (2019). Determination of outdoor absorbed gamma dose rates of Kahramanmaraş province, Turkey. *Cumhuriyet Science Journal*, 40(1), 102-107.
- Karatepe, Ş., and Kuluöztürk, M. F. (2019). Determination of environmental radiation in the beach sand of Tatvan, Ahlat and Adilcevaz. *Sakarya University Journal of Science*, 23(6), 1173-1176.
- Kayakökü, H. (2018). Van Gölü batı ve kuzey kıyısında radyoaktivite, radon ve ağır elementlerin analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 189s, Elazığ.
- Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Damla, N., and Cevik, U. (2011). Radiological maps for Trabzon, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 393–399.
- Ludlum Measurements (LM), 2007. Ludlum Model 2241-3 Survey Meter Manual. Serial Number 238342 and Succeeding Serial Number, Sweetwater, Texas.
- Olagbaju, P. O., Okeyode, I. C., Alatise, O. O., Bada, B. S. (2021). Background radiation level measurement using handheld dosimeter and gamma spectrometry in Ijebu-Ife, Ogun State Nigeria. *International Journal of Radiation Research*, 19(3), 591-598.
- Ononugbo, C., and Anekwe, U. (2020). Background gamma radiation in Nigerian market environment. *American Journal of Environmental Sciences*, 16(3), 48-54.
- Özgenç, İ., ve Kibici, Y. (1994). Başören Köyü (Başören (Kuluncak-Malatya)-Malatya) britolit damarlarının jeolojisi ve kimyasal-mineralojik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37, 77-85.
- Öztürk, H., Haniççi, N., Altuncu, S., and Kasapçı, C. (2019). Türkiye'nin nadir yer element (NYE) kaynakları: Özelliklerine ve kökenlerine genel bir bakış. *MTA Dergisi*, 159, 133-148.
- Saroğlu, F., and Güner, Y. (1981). Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Öğeler: Jeomorfoloji, Tektonik, Volkanizma İlişkileri. *TJK Bülteni*, 24, 39-50.
- Taşkın, H. (2006). İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalandırılması. Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, İstanbul.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., and Karahan, G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 49- 53.
- Thabayneh, K. M., and Jazzar, M. M. (2007). Radioactivity levels in plant samples in Tulkarem District, Palestine and its impact on human health. *Radiation Protection Dosimetry*, 153(4), 467.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEA), 2010. Türkiye'deki Çevresel Radyoaktivitenin İzlenmesi. Technique Report, Ankara 9-14.
- Turhan, Ş., Köse, A., Varinlioglu, A., Şahin, N. K., Arıkan, I., Oğuz, F., Yücel, B., and Özdemir, T. (2012). Distribution of terrestrial and anthropogenic radionuclides in Turkish surface soil samples. *Geoderma*, 187(188), 117–124.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, United Nations, New York, 2000.

## Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

Arife ŞİMŞEK<sup>1\*</sup>, Hatice TÜRK TEN<sup>2</sup>, Gülfem BAKAN<sup>3</sup>

### Öz

Karadeniz Bölgesi'nin en büyük akarsularından olan Kızılırmak ve Yeşilirmak, havza alanlarındaki insan aktiviteleri, tarım ve hayvancılık faaliyetleri nedeniyle kirletici faktörlerin yoğun baskısı altındadır. Bu kirletici etkilerin belirlenmesi için Orta Karadeniz Bölgesi, Samsun'da yer alan Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin fizikokimyasal özelliklerinin ve su kalitesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ekim 2018 ve Ağustos 2019 olmak üzere dört mevsim olacak şekilde örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) ne göre ve mevsimsel olarak Su Kalite İndeksine (WQI) göre değerlendirilmiştir. İstatistiksel olarak veriler arasında farklılıklar için bağımsız t-testi, parametreler arasındaki ilişkinin belirlenmesi için pearson korelasyon indeksi (PCI), kirletici kaynaklarının belirlenmesi için temel bileşen analizi (TBA/FA) uygulanmıştır. TBA/FA ya göre dört faktör tüm faktörlerin %90,118 ni oluşturmuştur. YSKY'ne göre Kızılırmak I. ve II. sınıf, Yeşilirmak ise II.ve III. sınıf su kalite özelliği taşımaktadır. WQI sonuçlarına göre Kızılırmak ilkbahar mevsiminde "zayıf", Yeşilirmak ise sadece kış mevsiminde "iyi" diğer tüm mevsimlerde zayıf ve çok zayıf su kalite özelliği taşımaktadır. Sonuçlar Kızılırmak'ın içme, sulama ve endüstriyel kullanım için uygun, Yeşilirmak'ın ise sadece sulama amaçlı kullanım açısından uygun olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ağır metal, Kızılırmak, İstatistiksel analiz, Su kalite indeksi, Yeşilirmak

## Evaluation of Water Quality of the Middle Black Sea Region, Kızılırmak and Yeşilirmak Rivers Using Water Quality Index and Statistical Analysis

### Abstract

Kızılırmak and Yeşilirmak, one of the largest rivers of the Black Sea Region, are under intense pressure of polluting factors due to human activities, agriculture and livestock activities in the basin areas. In order to determine these polluting effects, it was aimed to evaluate the physicochemical properties and water quality of Kızılırmak and Yeşilirmak rivers in Samsun, Middle Black Sea Region. Sampling studies were carried out in four seasons, October 2018 and August 2019. The results obtained in the study were evaluated according to the Surface Water Quality Regulation (SWQR) and seasonally according to the Water Quality Index (WQI). Independent t-test for statistical differences between data, Pearson Correlation Index (PCI) to determine the relationship between parameters, Principal Component Analysis/Factor Analysis (PCA) to identify pollutant sources was applied. According to PCA/FA, four factors constituted 90,118% of all factors. According to SWQR, Kızılırmak I and II. Class, Yesilirmak II. and III. class water quality feature. According to the WQI results, Kızılırmak is "weak" in spring, Yeşilirmak is "good" only in winter, but weak and very poor in all other seasons. The results showed that Kızılırmak is suitable for drinking, irrigation and industrial use, while Yeşilirmak is suitable for use only for irrigation purposes.

**Keywords:** Heavy metal, Kızılırmak, Statistical analysis, Water quality index, Yeşilirmak

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi 55200, Samsun, arife.simsek@omu.edu.tr

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü,55105, Samsun, hatice.turkten@omu.edu.tr

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü,55139 Samsun, gbakan@omu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7177-1764>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2037-7756>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-2752-1303>

## 1. Giriş

Nehirler dinamik sistemlerdir ve tarım, sanayi, su ürünleri, hayvancılık, ulaşım ve rekreasyon gibi sektörler tarafından özellikle içme ve kullanma suyu olarak birçok kullanımı olan birincil kaynaklardır. Herhangi bir noktada bir nehrin yüzey suyu kimyası, havzanın litolojisi, atmosferik girdiler, iklim koşulları ve antropojenik girdiler dahil olmak üzere birkaç temel etkiyi yansıtır ve yapıları gereği eğim ve ana kaya jeolojisi gibi fiziksel koşullardaki değişikliklerden etkilenirler. Hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan çözülmüş ve partikül fazlarda önemli bir madde yükünün yatay ve sürekli tek yönlü akışını taşırlar (Bellos ve Swaidis, 2005, Bakan ve ark., 2010; Ustaoglu ve ark.,2020).

Günümüzde su kullanımları, insan faaliyetlerinden kaynaklanan genel kullanım nedeniyle tehdit edildiğinden hem kentsel hem de kırsal çevreler için güvenli su kaynaklarına erişim büyük bir endişe kaynağıdır (Xiao ve ark., 2019). Su kaynaklarına ulaşmanın etkin ve pratik yönetimi, sürdürülebilir kalkınma için esastır ve yeterli miktarda ve kalitede tatlı su olmadan mümkün değildir (Aydın ve ark.,2020).

Endüstriyel, tarımsal faaliyetler ve atık deşarjı gibi antropojenik etkilerin yoğunlaşması yüzey sularının kirlenmesine neden olmaktadır (Zeng ve ark., 2015; Şener ve ark., 2017). Ayrıca yeraltı sularının yoğun kullanımı, su tablası düşüşü, deniz suyu girişi ve kara çökmesi dahil olmak üzere birçok etmen çevrenin ve su kalitesinin bozulmasının nedenleri arasındadır (Blanke ve ark., 2007; Tong ve ark., 2021).

Bir havzanın süreç dinamiklerini anlamak için, iyi tasarlanmış bir su kalitesi izleme ağı, kısa ve uzun vadeli eğilim analizi için temel değerler oluştururken, su kalitesi sorunlarını tanımlar (Uncumusaoğlu ve Akkan, 2017). Ekolojik dengenin sağlanması ve su kaynaklarından verimli bir şekilde faydalanmak için, su kaynaklarının beslediği ekosistemlerin korunması ve kontrol altına alınması için, kontrollü olarak su kalitesi izlenmeli ve kirlilik değişimini etkileyen önemli faktörlerin tanımlanması ve uygun tedbirlerin alınması sağlanmalıdır (Karadavut ve ark., 2012; Kalıpçı ve ark., 2017; Cüce ve ark., 2020; Gümüş, 2021; Şimşek ve ark.,2021). Etkili bir su yönetimi için su kalitesi hakkında güvenilir bilgi toplamak, konumsal ve mevsimsel su kalitesi değişimlerini değerlendirmek, kirlilik kaynaklarını ve su kalitesi durumunu belirlemek ve su kirliliğini kontrol etmek çok önemlidir (Wu ve ark., 2018; Tian ve ark., 2019; Ustaoglu ve ark., 2020; Varol, 2020).

Su kalitesi değerlendirme indekslerinin, su ekosistemlerinin kalitesini değerlendirmede etkili bir araç olduğu bilinmektedir. Su Kalitesi İndeksi (WQI) su yönetiminde artan bir önem kazanmıştır. WQI suyun insan tüketimine uygunluğunu belirlemek için hesaplanmaktadır. Tatlı su kaynakları ile ilgilidir ve en yaygın kullanılan tatlı su kalite indekslerinden biridir (Akter ve ark., 2016; Sutadian ve ark., 2016; Mukatea ve ark., 2019; Ustaoglu ve Tepe, 2019; Varol, 2020; Tokatlı ve Ustaoglu, 2020;

Akkan ve Mutlu, 2022). Çok değişkenli istatistiksel analizler de akarsuların su kalitesi değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve su kaynakları yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Varol ve ark., 2012; Şener ve ark., 2017; Haider ve ark., 2019; Ustaoglu ve ark., 2020). Bu nedenle kapsamlı bir değerlendirme için WQI ile birlikte istatistiksel yöntemlerin de kullanılması su kalitesi değerlendirilmesinde daha etkili olabilir.

Orta Karadeniz Bölgesi Samsun'da yer alan Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin delta alanlarında oluşmuş kıyılarında, yurdumuzun tarımsal potansiyeli en yüksek ovalarından Bafra ve Çarşamba Ovaları yer almaktadır. Bölge, tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olması kaynaklı tarımsal atıklardan, nehirlerin şehir merkezinden geçmesi nedeniyle evsel ve endüstriyel atıklardan yoğun bir şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle, akarsuyun su kalitesi değerlendirmesine odaklanan kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin su kalitesi durumundaki mevsimsel değişimin karşılaştırmalı olarak Türkiye Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği (2016) ve WQI ya göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Yüzey sularının fizikokimyasal parametreleri ve ağır metal konsantrasyonları kullanılarak kirlilik kaynakları arasındaki ilişki, çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, nehirlerin su kalitesi ve kirlilik potansiyeli araştırılmıştır.

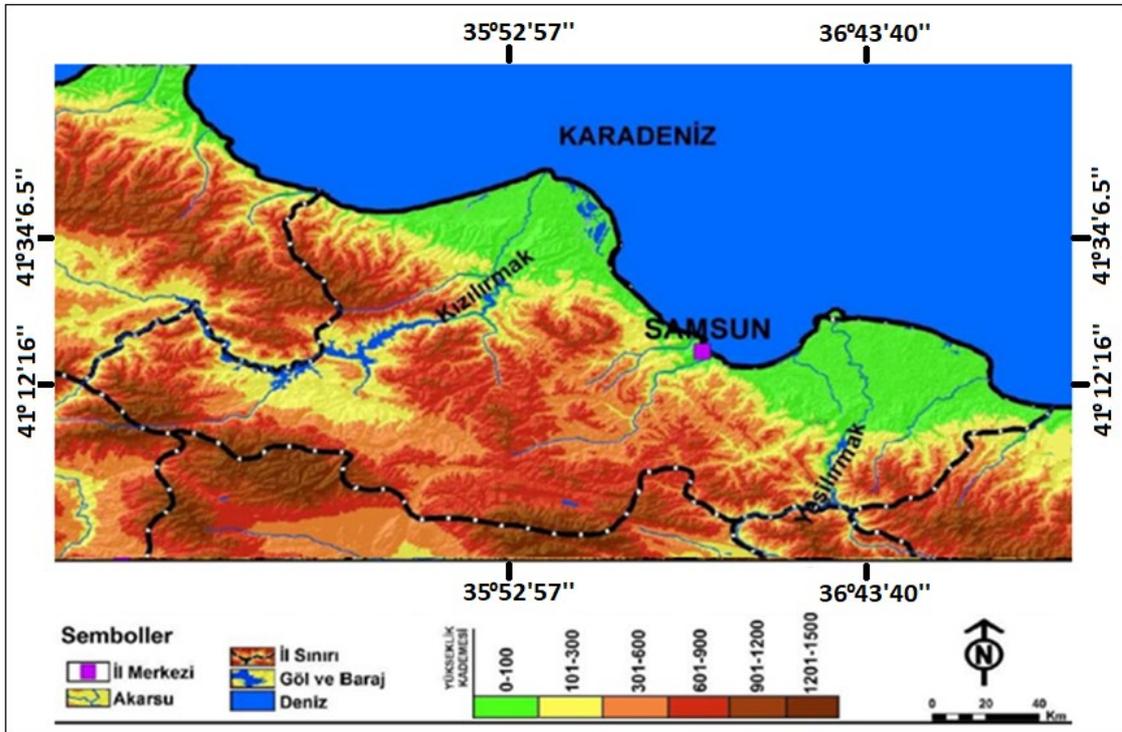
## **2. Materyal-Metot**

### **2.1. Çalışma alanı**

Bu çalışma Karadeniz Bölgesi'nin en büyük akarsuyu olan Kızılırmak (41° 34' 6.5" enlem - 35° 52' 57" boylam) Nehri ve en büyük 2. akarsuyu olan Yeşilirmak (41° 12' 16" enlem- 36° 43' 40" boylam) Nehri'nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Kızılırmak İç Anadolu'da Sivas Kızıldağ'dan doğup Samsun'un Bafra ilçesinde Karadeniz'e dökülmektedir. 78646 km<sup>2</sup> drenaj alanına sahip olan Kızılırmak ortalama 185 m<sup>3</sup>/s akım değerine sahip ve 1355 km uzunluğundadır. Kızılırmak, Türkiye'nin Karadeniz kıyısındaki Samsun ilindeki en önemli sulak alan ve delta ovasıdır. Delta, Türkiye'deki en büyük ikinci nehir havzasında yer almaktadır ve yüzölçümü 56.000 ha'dır. 1998 yılında "Ramsar Alanı" içine giren, "Uluslararası öneme sahip alan" özelliği taşıyan ve bu özelliği ile Karadeniz Bölgesi'ndeki tek sulak alandır (Can ve Taş, 2012). Bölgede tarımda kullanılan su, Kızılırmak Nehri'ne bağlanan drenaj kanalları vasıtasıyla deltaya taşınmaktadır. Bu drenaj kanalları doğal su kanallarıdır. Böylelikle tarımda kullanılan kimyasal gübre ve pestisitler bu sularla birlikte topraktan geçerek deltadaki yeraltı sularına ve göllere geçerek burada birikerek bölgenin ekosistemine ve insan sağlığına zarar verebilmektedir. Bu drenaj kanallarının etrafındaki tarım

alanları dışında, yerleşim yerleri ve en önemlisi yoğun hayvancılık faaliyetleri en önemli kirleticilerdir (Şener ve ark., 2020).

Yeşilırmak Havzası, Anadolu'nun kuzeyindeki Yeşilırmak Nehri üzerinden sularını Karadeniz'e boşaltan alanı kapsamaktadır. Doğduğu Köse Dağları'ndan batıya doğru akan Yeşilırmak Nehri, Çarşamba Ovası'ndan geniş bir delta yaparak Çatlı Burnu'ndan denize dökülmektedir. Karadeniz bölgesinde; Amasya, Bayburt, Çorum, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Samsun, Sivas, Tokat ve Yozgat illerini de havza sınırları içerisinde bulunduran, yaklaşık 40000 km<sup>2</sup> yağış alanına sahip Türkiye'nin en büyük 5. havzasıdır (519 km) (Kazancı ve ark., 2010). Havza Anadolu'nun kuzeyinde kalan yüzeysel suların bir kısmını, içerisinde bulundurduğu nehir ve dereler yardımı ile Karadeniz'e ulaştırır. Yeşilırmak Nehri havzasında önemli kirlilik kaynakları endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanan atık sular, yerleşim alanlarından gelen evsel atık sular ve tarım alanlarından süzülen sulardır. Yeşilırmak Havzası sınırları içerisinde inşaat halinde ve faaliyette olan toplam 23 adet baraj bulunmaktadır. Bu barajların bazıları sulama veya kullanma suyu olarak kullanılırken bazıları ise elektrik enerjisi üretmek amacı ile Hidro Elektrik Santral (HES) olarak kullanılmaktadır. Yeşilırmak nehir yatağı ve aşağı havza bölgelerinde köprü inşaatı dışında herhangi bir ıslah çalışması bulunmamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası (Yılmaz ve Zeybek, 2016)



## 2.2. Örneklem ve Analizler

Örnekler Orta Karadeniz Bölgesi'nde Kızılırmak ve Yeşilirmak olarak iki numune noktasından, 2018 ve 2019 yılı arasında 4 mevsim olacak şekilde sonbahar (Ekim 2018), kış (Şubat 2019), ilkbahar (Mayıs 2019), yaz (Ağustos 2019) olmak üzere her istasyondan 3 tekrarlı olacak şekilde 5 L steril polietilen şişelere kıyıdan yaklaşık 3-4 m uzaklıktan 50-100 cm derinlikten alınmıştır. Numuneler alındıktan hemen sonra pH, iletkenlik, sıcaklık, toplam çözünmüş madde (TÇM), çözünmüş oksijen (ÇO) yerinde-anlık olarak CONSORT C6010 çoklu parametre ölçer ile ölçülmüştür. Örnekler buz kutuları içinde laboratuvara nakledilmiş, analize kadar +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır. Ağır metal analizleri için önceden temizlenmiş 100 ml cam şişelere aktarılan numuneler 45 µm whatman filtreden geçirilip ve 6M HNO<sub>3</sub> ile pH 2 ye getirilmiştir. Askıda katı madde (AKM) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) APHA 2017 'e göre, toplam azot (TN) (kit numarası: 1.14543.0001), toplam fosfor (TP) (kit numarası: 1.14537.0001) ölçümleri Everest marka T70 UV/VIS spektrofotometre ile kitli olarak ve Teledyne Tekmar Apollo 9000 Combustion TOC (total organic carbon) Analyzer cihazı ile toplam organik karbon (TOK) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dört mevsim alınan su örneklerinin metal analizleri için Perkin Elmer Optima 7000 DV İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) cihazı kullanılmıştır. Analizler 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır.

Şekil 1' de konumları verilen bu örneklem noktaları özellikle şehiriçi yerleşimin fazla olduğu, evsel ve endüstriyel deşarjların, tarımsal kaynaklı sızıntıların, dolayısıyla kirliliğin yoğun olduğu yerlerdir. Bu nedenle sucul ekosistemin etkilerinin belirlenmesi amacıyla su numuneleri kıyıya yakın bölgelerden toplanmıştır.

## 2.3. Su Kalite İndeksi (WQI)

Su kalitesi indeksi (WQI), suyun içme ve kullanma amaçlı değerlendirildiğinde kullanılan önemli bir araçtır. İnsan tüketimi için su kalitesini değerlendirmek amacıyla su kalitesi parametrelerinin her birinin birleşik etkisini belirleyen bir derecelendirme tekniği olarak tanımlanmaktadır (Horton 1965; Kangabam ve ark., 2017). Son yıllarda içme ve evsel amaçlı kullanılacak su kaynaklarının potansiyelini analiz etmek için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Khanoranga, 2019; Kutlu ve Mutlu, 2021). Temel amacı, fazla sayıda olan su kalitesi verisini anlaşılır ve bilgilendirici bir şekilde azaltmaktır (Taş ve ark., 2021).

WQI için su kalitesini etkileyen pH, iletkenlik, ÇO, KOI, TN, TP, Pb, Ni, Zn, Cu ve Cd parametreleri seçilmiştir ve denklem 3 e göre hesaplanmıştır. Tablo 1 de hesaplamada kullanılan gerçek ağırlık (wi) değerleri ve YSKY (2016) tarafından belirlenen içme suyu standart değerleri

verilmektedir.  $w_i$  belirlenirken insan sağlığı ve su kalitesi üzerindeki etkisine ve önemine bağlı olarak her parametreye 1 ile 5 arasında bir değer atanmıştır.  $w_i$  değerleri için literatürde yer alan Horton (1965) tarafından önerilen WQI hesaplamaları araştırılarak parametrelerin derecelerine göre atamalar yapılmıştır.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

$$WQI = \sum (W_i \times Q_i) \quad (3)$$

Burada  $W_i$ , her parametrenin göreceli ağırlığıdır,  $Q_i$  kalite derecesidir,  $C_i$ , her kimyasal parametrenin ölçülen konsantrasyonlarıdır,  $S_i$ , YSKY (2016) tarafından önerilen kimyasal parametrelerin standart değerleridir ve  $n$ , parametre sayısıdır. Fizikokimyasal parametreler ve ağır metaller için  $w_i$  ve  $S_i$  değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.  $WQI < 50$  mükemmel (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun A sınıfı) ;  $50 < WQI < 100$  iyi (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun B sınıfı) ;  $100 < WQI < 200$  zayıf (sulama ve endüstriyel kullanıma uygun C sınıfı);  $200 < WQI < 300$  çok zayıf (sadece sulama için uygun D sınıfı) ve  $WQI > 300$  kullanıma uygun değil şeklinde beş kategoride sınıflandırılır (de Carvalho ve ark., 2021; Tokatlı, 2021; Hagnhnazar ve ark., 2022).

**Tablo 1.** Su kalite parametrelerine göre bağıl ağırlık değerleri

Parametre	YSKY( $S_i$ )	$w_i$	$W_i$
pH	7,5	4	0,105
İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1000	5	0,132
Çözünmüş oksijen	8	3	0,079
TN (mg/L)	11,5	5	0,132
TP (mg/L)	0,2	5	0,132
KOI (mg/L)	50	4	0,105
Pb ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	14	4	0,105
Ni ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	34	3	0,079
Zn ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	231	1	0,026
Cu ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	3,1	2	0,053
Cd ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	1,5	2	0,053
$\Sigma 38$			

#### 2.4. İstatiksel Analizler

Araştırma verileri, SPSS 24.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Su kalitesini belirlemek için elde edilen parametreler basit tanımlayıcı istatistiklerle (frekans, ortalama, minimum ve

maksimum değer, standart sapma) ortaya konulmuştur. Verilerin normal dağılımına Kolmogorov–Smirnov (K–S) testi ile bakılmıştır. Yeşilırmak ve Kızılırmak’tan alınan veriler arasında farklılık olup olmadığı bağımsız t-testi ile belirlenmiştir. Bağımsız örneklem t-testinde iki grubun ortalamaları karşılaştırılmıştır. Araştırmada elde edilen parametreler arasındaki ilişkiyi tespit etmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinde iki veya daha çok sayıda değişken arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, eğer varsa bu ilişkinin derecesi ve fonksiyonel şekli belirlenmeye çalışılır (Ustaoglu vd., 2019; Haghazar ve ark., 2021; Üstün Odabaşı ve ark., 2022). Korelasyonun hesaplanmasında Pearson korelasyon testinden yararlanılmıştır. Biri ile ilişkili parametrelerin bir araya getirilerek daha az değişkenle açıklanması için Temel Bileşen Analizi /Faktör analizi (TBA/FA) yapılmıştır. TBA öncesi elde edilen KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) örneklem yeterliliği testi sonuçları 0,567 olarak hesaplanmıştır. TBA/FA, birbiri ile ilişkili p tane değişkeni bir araya getirerek az sayıda ilişkisiz ve kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler, boyutlar) bulmayı amaçlayan çok değişkenli bir istatistik yöntemidir. Temel bileşen analizinde varimax yöntemi kullanılmıştır. Faktör yükleri matrisinin sütunlarına öncelik veren bu yöntemde, her sütundaki bazı yük değerleri 1’e yaklaştırılırken geriye kalan çok sayıdaki yük değerleri 0’a yaklaştırılır. Faktör varyanslarının maksimum olmasını sağlayacak biçimde döndürme yapılır. Bu amaçla geliştirilen V fonksiyonunun maksimum olması hedeflenir.

### **3. Bulgular ve Tartışma**

#### **3.1. Su Kalitesi Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Su kalitesini etkileyen fizikokimyasal parametrelerin Kızılırmak ve Yeşilırmak’ta ölçümlerinin minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 2’de yer almaktadır. pH değeri Kızılırmak’ta ortalama 7,77, Yeşilırmak’ta 7,71 olarak ölçülmüştür. Ancak iki farklı ırmakta ölçülen pH değeri ırmaklar arasında farklılık göstermemektedir. TÇM ölçümü Kızılırmak’ta ortalama 779,25 mg/L iken, Yeşilırmak’taki ortalama değeri 402,00 mg/L’dir. İrmaklar arası TÇM değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ( $p < 0,05$ ) (Tablo 2). İletkenlik değeri Kızılırmak’ta ortalama 1459,5  $\mu\text{s/cm}$ , Yeşilırmak’ta 760,25  $\mu\text{s/cm}$  olarak ölçülmüştür. İrmaklar arası iletkenlik değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ( $p < 0,05$ ). Yeşilırmak’taki iletkenlik değeri Kızılırmak’taki iletkenlik değerinden daha düşüktür. Bakan vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada Kızılırmak’ta ortalama iletkenlik değeri 1340  $\mu\text{s/cm}$  olarak belirlenmiştir. TÇM parametresi ile doğrudan ilişkili olan suyun elektriksel iletkenliği (EC) sudaki iyon konsantrasyonuna bağlıdır ve aralarında pozitif ilişki vardır (Taş ve ark, 2021). Tuzluluk ve çözünmüş mineraller elektriksel iletkenliğin artmasına neden olan faktörler arasındadır (Atıcı, 2004). Tablo 3’de verilen

pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TÇM ve EC arasında yüksek korelasyon olduğu görülmektedir ( $r=0,851$ ;  $p < 0,01$ ). Kızılırmak ve Yeşilirmak örnekleme noktalarında iletkenliğin yüksek olmasının nedeni denize bağlantı noktalarına yakın yerlerden numune alınmış olmasıdır. Akbal ve ark. (2011a) tarafından yapılan çalışmada benzer olarak Yeşilirmak'ta EC 362-385  $\mu\text{s/cm}$  ve Kızılırmak'ta 1240-1450  $\mu\text{s/cm}$  ve (Akbal ve ark., 2011b) tarafından yapılan çalışmada 427  $\mu\text{s/cm}$  (Yeşilirmak) ve 1700  $\mu\text{s/cm}$  (Kızılırmak) olarak bulunmuştur. YSKY (2016) e göre iletkenlik parametresi Kızılırmak'ta III. sınıf Yeşilirmak'ta I.ve II. sınıf su kalite özelliği göstermektedir.

Ölçülen sıcaklık değerlerini incelediğimizde ırmaklar arasında farklılık göstermediği tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Irmaklardaki ortalama sıcaklık değeri 19,4 °C'dir. Çözünmüş oksijen değeri Kızılırmak'ta ortalama 10,19 mg/L (I.sınıf), Yeşilirmak'ta 4,09 mg/L (III. sınıf) olarak ölçülmüştür. Sudaki nutrient fazlalığı ve mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak suyun rengi bulanır ve çözünmüş oksijen seviyesi düşer (Mahobe ve Mishra, 2013; Pandit ve ark., 2020).

AKM sonuçları Kızılırmak'ta ortalama 0,54 mg/L iken, Yeşilirmak'taki 0,67 mg/L'dir. TN, TP ve TOK ölçüm değerlerinde ırmaklar arası farklılık bulunmamaktadır ( $p < 0,05$ ). Ortalama TN değeri Kızılırmak için 2,07 mg/L (I. Sınıf), TP değeri 0,17 mg/L (I.-II. sınıf) ve TOK değeri 1,52 mg/L'dir. Yeşilirmak'ta ise sırasıyla 5,78 mg/l (I.-II. sınıf); 1,28mg/l ve 3,62 mg/l (III. sınıf) dir. Kızılırmak'taki KOİ Yeşilirmak'a göre daha düşüktür. KOİ değeri ne kadar yüksek olursa, su içerisinde de bulunan organik madde miktarı o kadar fazla olur (Özdoğan vd.2021). Buna bağlı olarak KOİ ve TOK arasında doğru orantı bulunmaktadır ( $r=0,872$ ;  $p < 0,01$ ).

**Tablo 2.** Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta ölçülen Fizikokimyasal parametreler ve ağır metallerin minimum, maksimum, Ort±std sapma ve YSKY değerleri

Parametre	Kızılırmak			Yeşilirmak			YSKY		
	Min	Max	Ort±std sapma	Min	Max	Ort±std sapma	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)
pH	7,61	7,83	7,77±0,10	7,07	8,10	7,71±0,46	6-9	6-9	6-9
EC(µs/cm)**	1383	1591	1459,5±95,8	389	1166	760,3±416,68	< 400	1000	> 1000
TÇM (mg/L)**	491,0	961,0	779,3±201,5	245	633	402,0±187,04	-	-	-
Sıcaklık (°C)	10,80	24,30	19,03±5,95	11,0	25,80	19,93±6,29	-	-	-
ÇO (mg/L)***	9,22	11,48	10,19±1,10	1,79	8,34	4,09±2,93	> 8	6	< 6
AKM (mg/L)	0,26	1,05	0,54±0,36	0,54	0,81	0,67±0,12	-	-	-
TN (mg/L)	0,57	4,95	2,07±1,96	1,68	16,19	5,78±6,95	< 3,5	11,5	> 11,5
TP (mg/L)	0,05	0,35	0,17±0,13	0,06	3,49	1,28±1,52	< 0,08	0,2	> 0,2
KOI(mg/L)***	57,6	118	85,40±29,26	144	409	231±120,4	< 25	50	> 50
TOK (mg/L)	1,26	1,76	1,52±0,23	1,15	9,08	3,62±3,75	-	-	-
							YO-ÇKS	MAX-ÇKS	
Pb	1,0	13	7,25±5,32	3,0	18	8,75±6,90	1,2	14	
Ni	1,2	4,7	3,35±1,52	1,5	6	3,63±2,17	4	34	
Zn	15	36	24,50±9,40	15	54	32,75±20,69	5,9	231	
Cu***	1,40	3,80	2,50±1,14	2,70	7,50	5,10±1,97	1,6	3,1	
Fe	43	317	171,0±143,32	218	318	269,0±54,39	36	101	
Al	27	376	183,8±183,31	17	376	227,8±152,1	2,2	27	
Cd	1,5	17	6,68±7,08	4,10	19	9,25±6,66	0,25	1,5	

\*, \*\* ve \*\*\* ilgili değişken açısından Kızılırmak ve Yeşilirmak arasındaki farkın sırasıyla %10, %5 ve %1 ihtimal düzeyinde istatistiki açıdan önemli olduğunu ifade etmektedir.

YO: yıllık ortalama MAX : maksimum ÇKS: çevresel kalite standartları

Su kalitesini etkileyen ağır metal parametrelerin Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta yapılan analiz sonuçları ırmaklar arası farklılık göstermemektedir. Ortalama Pb değeri 8,00 µg/l, Ni değeri 3,49 µg/l, Zn değeri 28,63 µg/l, Fe değeri 220,00 µg/l, Al değeri 205,75 µg/l ve Cd değeri 7,96 µg/l'dir. Ancak Cu değeri ırmaklar arası farklılık göstermektedir. Kızılırmak'ta Cu değeri ortalama 2,50 µg/l iken, Yeşilirmak'ta 5,10 µg/l'dir Kızılırmak'ta Cu sonuçları maksimum ÇKS değerlerinin altında kalırken, Yeşilirmak'ta maksimum ÇKS değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Bakır (Cu), sucul yaşam için zorunlu olan mikro besleyici elementtir. Bitkilerin çürüyerek ayrışması gibi doğal yollarla ve belediye ve sanayi atık suları gibi insan faaliyetlerinin neticesiyle olmaktadır (Eqani, 2016). Yeşilirmak nehrinde birçok parametrenin II. ve III. sınıf su kalite özelliği göstermesinin nedeni kentsel deşarjların, hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir alan olmasından kaynaklanmaktadır. Örnekleme yapılan her mevsim Yeşilirmak örnekleme noktasında yoğun kötü koku olduğu hissedilmiş ve görsel olarak da suyun kirli olduğu görülmüştür.

İstatistiksel olarak metaller arasındaki ilişkiyi değerlendirdiğimizde Pb değeri ile Ni değeri arasında pozitif yönlü, çok yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Pb doğal yollardan ve insan faaliyetleri neticesinde çevreye yayılır, benzer olarak Ni de hem doğal hem de insan kaynaklı çevreye yayılmaktadır. Her iki metalinde antropojenik kaynaklı olması korelasyon ilişkisini arttırmaktadır. Pb değeri 1 birim arttığında, Ni değeri 0,919 birim artmaktadır. Pb değeri ile Zn değeri arasında negatif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,01$ ). Pb değeri 1 birim arttığında, Zn değeri 0,750 birim azalmaktadır. Pb değeri ile Fe değeri arasında pozitif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,01$ ). Pb değeri 1 birim arttığında, Fe değeri 0,754 birim artmaktadır. Pb değeri ile Al değeri arasında pozitif yönlü, çok yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,01$ ). Pb değeri 1 birim arttığında, Al değeri 0,833 birim artmaktadır (Tablo 3).

Ni değeri ile Zn değeri arasında negatif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,01$ ). Ni değeri 1 birim arttığında, Zn değeri 0,776 birim azalmaktadır. Alüminyum ve demir yer kabuğunda en çok bulunan metallerdir. Fe değeri ile Al değeri arasında pozitif yönlü, çok yüksek derecede anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ( $p<0,05$ ). Fe değeri 1 birim arttığında, Al değeri 0,846 birim artmaktadır. Al değeri ile Cd değeri arasında negatif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ( $p<0,01$ ). Al değeri 1 birim arttığında, Cd değeri 0,781 birim azalmaktadır (Tablo3).

**Tablo 3:** Su kalitesini etkileyen fizikokimyasal parametreler ve ağır metallerin pearson korelasyon ilişkisi

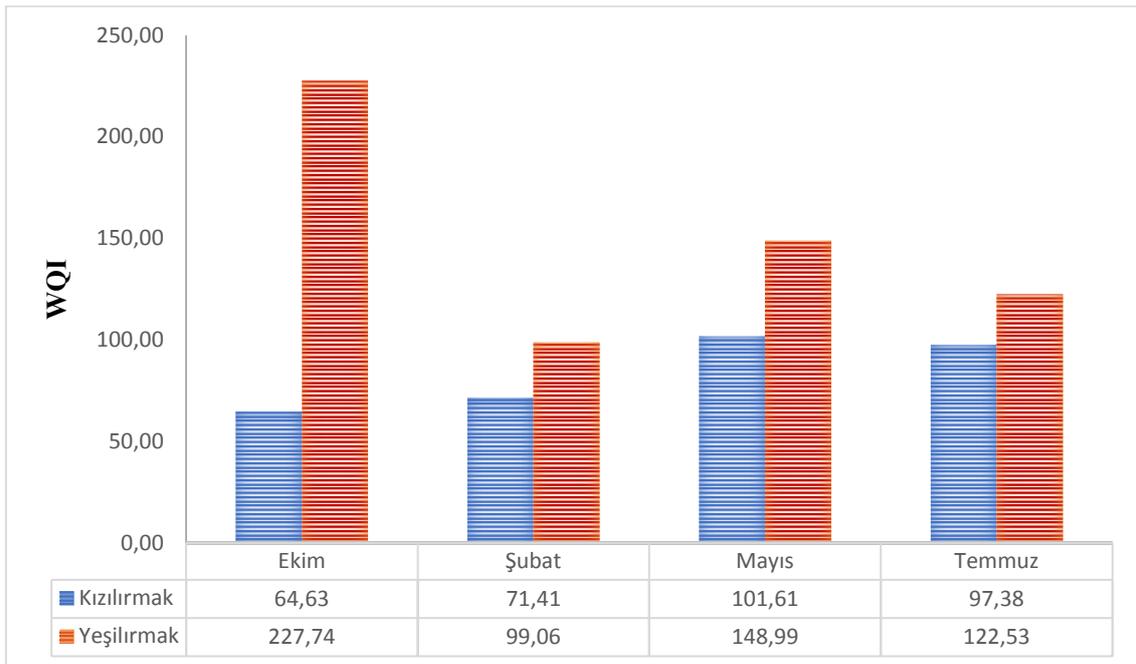
	pH	İletkenlik	TÇM	Sıcaklık	ÇO	AKM	TN	TP	KOI	TOK	Pb	Ni	Zn	Cu	Fe	Al	Cd
<b>pH</b>	1,00																
<b>İletkenlik</b>	-0,13	1,00															
<b>TÇM</b>	0,19	<b>,851**</b>	1,00														
<b>Sıcaklık</b>	-0,35	-0,28	-0,28	1,00													
<b>ÇO</b>	0,18	0,44	0,52	0,06	1,00												
<b>AKM</b>	0,30	-0,06	0,16	0,01	-0,37	1,00											
<b>TN</b>	0,46	-0,02	0,14	-0,48	-0,47	0,53	1,00										
<b>TP</b>	<b>-,826*</b>	-0,18	-0,36	0,29	-0,62	-0,02	-0,20	1,00									
<b>KOI</b>	-0,69	-0,33	-0,42	0,30	<b>-,753*</b>	0,16	0,01	<b>,960**</b>	1,00								
<b>TOK</b>	<b>-,761*</b>	0,09	-0,10	-0,04	-0,63	0,03	0,10	<b>,904**</b>	<b>,872**</b>	1,00							
<b>Pb</b>	0,35	-0,47	-0,15	0,56	0,01	0,37	-0,24	-0,07	0,03	-0,38	1,00						
<b>Ni</b>	0,30	-0,53	-0,17	0,52	0,21	0,08	-0,40	-0,11	-0,05	-0,44	<b>,919**</b>	1,00					
<b>Zn</b>	-0,20	0,24	0,09	<b>-,728*</b>	-0,51	0,04	0,59	0,31	0,32	0,65	<b>-,750*</b>	<b>-,776*</b>	1,00				
<b>Cu</b>	0,15	-0,32	-0,23	-0,46	<b>-,774*</b>	0,14	0,66	0,31	0,44	0,46	-0,13	-0,19	0,68	1,00			
<b>Fe</b>	0,13	-0,50	-0,21	0,69	-0,32	0,44	0,14	0,19	0,38	-0,02	<b>,754*</b>	0,63	-0,45	0,15	1,00		
<b>Al</b>	0,59	-0,37	0,00	0,48	-0,01	0,46	0,19	-0,32	-0,15	-0,49	<b>,833*</b>	0,70	-0,62	0,01	<b>,846**</b>	1,00	
<b>Cd</b>	<b>-,788*</b>	0,08	-0,41	-0,03	-0,36	-0,37	-0,19	0,62	0,49	0,65	-0,66	-0,66	0,47	0,05	-0,45	<b>-,781*</b>	1,00

\*0.05 anlamlılık düzeyinde ilişki \*\*0.01 anlamlılık düzeyinde ilişki

### 3.2. WQI Kullanılarak Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

WQI, suyun kullanımı için kalitesinin halka kolayca iletilmesini sağlayan güçlü bir yöntemdir. Su kalitesi için önemli görülen su parametrelerinin buna bağlı olarak entegrasyonunu sağlayan açık bir araçtır. Su kalitesini temsil eden parametreler arasından pH, EC, ÇO, TN, TP, KOİ, Pb, Ni, Zn, Cd, Cu olmak üzere 11 parametre WQI hesaplamak için kullanılmıştır. Bu indeks, Türkiye dahil olmak üzere dünyanın çeşitli ülkelerinde su kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Varol ve Davraz, 2015; Kükrer ve Mutlu, 2019; Tokatlı, 2019; Ustaoglu ve ark., 2019; Varol, 2020; Howladar ve ark., 2021; Taş ve ark.,2021; Haghazar ve ark.,2022).

Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinde WQI değerleri arasında mevsimsel olarak farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 2). Kızılırmak 4 mevsim boyunca sadece ilkbahar (Mayıs) mevsiminde 101,61 zayıf su kalitesi gösterirken, Yeşilirmak kış (Şubat) mevsimi dışında tüm mevsimlerde çok zayıf su kalitesi göstermektedir. Mevsimsel olarak sonbaharda Kızılırmak (64,63) iyi, Yeşilirmak (227,74) çok zayıf; kışın Kızılırmak iyi (71,41), Yeşilirmak iyi (99,06); ilkbaharda Kızılırmak (101,61) zayıf, Yeşilirmak (çok zayıf) ve yaz mevsiminde Kızılırmak (97,38) iyi, Yeşilirmak (122,53) zayıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Buna göre her iki nehrin iyi su kalitesi gösterdiği tek mevsim kış mevsimidir. Bunun nedeni mevsimsel olarak yağışın fazla olması nedeniyle sudaki kirliliği seyrelmesidir.



Şekil 2. Örnekleme noktaları ve mevsimlere göre WQI değerleri



### 3.3. Faktör Analizi ve Su Kirliliği Kaynaklarının Belirlenmesi

Kızılırmak ve Yeşilirmak'tan alınan ölçümler sonucunda elde edilen 18 parametre ile yapılan temel bileşen/faktör analizi (TBA/FA) sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Öz değeri 1'den büyük olan 4 faktör oluşmuştur. Bu 4 faktör toplam varyansın %90,118'ini açıklamaktadır. 1. Faktör toplam varyansın %33,4'ünü açıklamakta olup, bu faktörde Al, Pb, Fe, Ni pozitif yönde güçlü ve AKM ise pozitif yönde orta derecede temsil etmektedir. Su kalitesine ait parametrelerin %33,4'ünü bünyesinde toplayan 1. faktörün toplam varyansın açıklama payına bakıldığında bu faktörün su kalitesini tek başına temsil edebilecek bir karakter taşıyacağı görülmektedir (Tablo 4). Faktör 1 de güçlü Al, Fe, Ni, Pb yüklemeleri nedeniyle evsel ve endüstriyel noktasal kaynaklar ve yağış nedeniyle meydana gelen kayaçların yüzeysel akışı ve erozyonu bu bileşenin kaynağı olabilir. Akbal ve ark. (2011b) tarafından yapılan çalışmada toplam varyansın % 20,89 unu ifade eden faktör 1 parametreleri benzer şekilde endüstriyel kaynaklara atfedilmiştir. Uncumusaoğlu ve Mutlu (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Nikel, kurşun, bakır, çinko gibi metallerin benzer kaynaklara ve süreçlere sahip olduğu belirtilmiştir.

**Tablo 4.** Su kalite parametreleri döndürülmüş faktör korelasyon katsayıları

Değişken	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
Özdeğer	6,391	4,985	3,772	1,973
Varyans (%)	33,639	26,239	19,855	10,386
Kümülatif (%)	33,639	59,878	79,732	90,118
Faktör yükleri (normalleştirilmiş varimax)				
Al	<b>0,938</b>	-0,241	0,055	-0,041
Pb	<b>0,917</b>	-0,046	-0,239	-0,149
Fe	<b>0,912</b>	0,270	0,080	-0,112
Ni	<b>0,771</b>	-0,148	-0,383	-0,334
Tuzluluk	<b>-0,669</b>	0,496	-0,253	0,266
AKM	<b>0,567</b>	0,029	0,519	0,292
KOİ	0,102	<b>0,945</b>	0,207	-0,160
TP	0,187	<b>0,911</b>	-0,094	-0,303
TOK	-0,284	<b>0,865</b>	0,314	0,119
pH	0,367	<b>-0,820</b>	0,334	-0,109
ÇO	-0,108	<b>-0,651</b>	-0,621	0,279
TN	0,058	-0,168	<b>0,937</b>	0,045
Cu	-0,026	0,250	<b>0,820</b>	-0,340
Zn	-0,619	0,242	<b>0,737</b>	0,054
Sıcaklık	0,589	0,405	<b>-0,593</b>	0,011
EC	-0,398	-0,155	-0,041	<b>0,893</b>
TÇM	-0,032	-0,382	0,108	<b>0,829</b>
Cd	0,039	-0,390	0,346	<b>-0,739</b>

Faktör 2 toplam varyansın %26,24 ünü temsil etmektedir. KOİ, TP ve TOK arasında kuvvetli pozitif, pH kuvvetli negatif ve ÇO orta derecede negatif yük göstermektedir. Bu faktör arıtılmamış evsel kanalizasyon suları ve tarımsal akıştan gelen besin ve organik madde girdilerini temsil eder. Faktör 3 TN, Cu ve Zn parametreleri için pozitif yönde, sıcaklık için negatif bir yük oluşturur (Islam ve ark., 2015; Varol, 2020). Bu faktör toplam varyansın % 19,86 sını temsil etmekte ve bu faktöre göre sıcaklığın azalması ve yağışın artmasıyla tarım arazilerinden gelen yüzeysel akış, erozyon ve drenaj suları kirliliğin oluşumunda etkili olduğunu göstermektedir (Taş ve ark.,2021). Son olarak Faktör 4 toplam varyansın % 10,38 ni temsil eder ve EC ve TÇM nin kuvvetli pozitif yük, Cd ise orta şiddette negatif yük oluşturduğu bir faktördür. İçme suyu için daha yüksek TÇM değerleri, jeojenik kaynaklara bağlı olabilir (Mustafa vd., 2017). Bu faktör çözünmüş katı madde girdisi ve jeojenik birikimlerden kaynaklı kirlilikleri temsil etmektedir (Tursun, 2018; Khalid, 2019).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Karadeniz Bölgesi'nin en önemli iki akarsuyu olan Kızılırmak ve Yeşilirmak'tan 2018-2019 yılı dört mevsim olacak şekilde toplanan yüzey suyu örneklerinin fizikokimyasal ve ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. YSKY (2016) ya göre su kalite sınıfları belirlenmiş, ırmaklar arası su kalite indeksi (WQI) kullanılarak kalite değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak pearson korelasyon indeksine göre değerlendirilmiştir. Nehirlerdeki kirlilik kaynaklarını belirlemek için temel bileşen analiz uygulanmıştır. YSKY göre Kızılırmak genel olarak I ve II. Sınıf su kalitesi (az kirlenmiş), Yeşilirmak ise II.ve III.sınıf su kalite (kirlenmiş su) özelliği göstermektedir. Mevsimsel olarak WQI sonuçlarına göre Kızılırmak sadece ilk bahar mevsiminde 101,61 WQI değeriyle “zayıf-C sınıfı”, diğer mevsimlerde “iyi-B sınıfı” su özelliği; Yeşilirmak ise sadece kış mevsiminde 99,06 değeriyle “iyi-B sınıfı” diğer mevsimler “zayıf- C sınıfı” ve “çok zayıf-D sınıfı” su kalite özelliği taşımaktadır. Faktör analizinden (TBA/FA) elde edilen sonuçlar, su kalitesini etkileyen parametrelerin temel olarak organik kirlilik (evsel atıklar), inorganik kirlilik (endüstriyel atıklar), tarımsal akışla gelen nütrientler, jeojenik kaynaklar, toprak sızıntısı ve yüzey akışı ile ilgili olduğunu göstermektedir. Buna göre Yeşilirmak özelinde tüm su havzaları için bütüncül havza yönetimi yaklaşımı uygulanmalı ve su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi sağlanmalıdır. Tarım faaliyetlerinde gübre kullanımı kontrol edilmeli ve modern sulama teknikleri uygulanmalıdır.

## Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.19.004 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

## Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışma tasarımına katkıda bulunmuştur. **Arife Şimşek**: Numunelerin toplanması ve laboratuvar analizleri, yazma- orijinal taslak hazırlama, biçimsel analiz, kavramsallaştırma. **Hatice Türkten**: İnceleme ve düzenleme, istatistiksel analiz. **Gülfem Bakan**: Metodoloji, inceleme ve düzenleme, denetim. Tüm yazarlar son makaleyi okudu ve onayladı.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, İ., Bakan, G., Büyükgüngör, H., (2011a). Water and sediment quality assessment in the mid-Black Sea coast of Turkey using multivariate statistical techniques. *Environmental Earth Science*, 64, 1387–1395
- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, İ., Bakan, G. and Büyükgüngör, H., (2011b). Multivariate statistical techniques for the assessment of surface water quality at the mid-black sea coast of turkey. *Water Air Soil Pollution*, 216, 21– 37. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0511-0>.
- Akkan, T., Mutlu, T. (2022). Assessment of Heavy Metal Pollution of Çoruh River (Turkey) . *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* , 12 (1) , 355-367 . DOI: 10.31466/kfbd.1073227
- Akter, T., Jhohura, F.T., Akter, F., Chowdhury, T.R., Mistry, S.K., Dey, D., Barua, M.K., Islam, M.A. & Rahman, M., (2016). Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A cross-sectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition* 35: 4. doi: 10.1186/s41043-016-0041-5.
- Atıcı, T., (2004). Sarıyar Barajı planktonik algleri Kısım: I – *Cyanophyta*. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi.*, 2 (12): 94.

- Aydin H., Ustaoglu F., Tepe T., Soylu E.N., (2020): Assessment of water quality of streams in northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods, *Environmental Forensics*, DOI: 10.1080/15275922.2020.1836074
- Aydin Uncumusaoğlu, A., Akkan, T., (2017). Assessment of Water Quality of Yağlıdere Stream (Turkey) Using Multivariate Statistical Techniques. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(4), 1715-1723. <https://doi.org/10.15244/pjoes/68952>
- Bakan, G., Özkoç, H.B., Tulek, S., Cuce, H., (2010). Integrated Environmental Quality Assessment of Kizilirmak River and its Coastal Environment. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 453-462.
- Bellos, D. and Sawidis, T. (2005). Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia–Greece), *Journal of Environmental Management*, 76: 282-292.
- Blanke, A., Huang, Q., Rozelle, S., Huang, J., Wang, J., (2007). Agriculture and groundwater development in northern China: trends, institutional responses, and policy options. *Water Policy* 9 (S1), 61–74. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.045>.
- Can, Ö. ve Taş, B., (2012). Ramsar Alanı İçinde Yer Alan Cernek Gölü ve Sulak Alanının (Kızilirmak Deltası, Samsun) Ekolojik ve Sosyo-Ekonomik Önemi . *TÜBAV Bilim Dergisi* , 5 (2) , 1-11 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/tubav/issue/21527/230967>
- Cüce, H., Kalıpcı, E., Taş, B., Yılmaz, M. (2020). Rakım Farklılığı Nedeniyle Oluşan Meteorolojik Değişimlerin Su Kalitesine Olan Etkilerinin CBS ile Değerlendirilmesi: Morfolojik Olarak Farklı İki Göl için Bir Karşılaştırma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 10(1), 1-26. DOI: 10.31466/kfbd.649297
- de Carvalho, V.S., Dos Santos, I.F., Almeida, L.C., de Souza, C.T., da Silva Júnior, J.B., Souza, L.A., Ferreira, S.L., (2021). Spatio-temporal assessment, sources and health risks of water pollutants at trace levels in public supply river using multivariate statistical techniques. *Chemosphere* 282, 130942
- Eqani, S., Kanwal, A., Ali, S. M., Sohail, M., Bhowmik, A.K, Ambreen, A., Ali, N., Fasola, M. and Shen, H., (2016). Spatial distribution of dust-bound trace metals from Pakistan and its implications for human exposure. *Environmental Pollution*, 213: 213–222. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.02.017.
- Gümüş, N.E., (2021). Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar) Su Kalitesi Ve Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 6(1), 120-127.
- Haghnazar H, Hudson-Edwards KA, Kumar V, Pourakbar M, Mahdavianpour M, Aghayani E.,(2021) Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*. Jul 5;285:131446. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131446.
- Haghnazar H, Johannesson KH, González-Pinzón R, Pourakbar M, Aghayani E, Rajabi A, Hashemi AA., (2022). Groundwater geochemistry, quality, and pollution of the largest lake basin in the Middle East: Comparison of PMF and PCA-MLR receptor models and application of the source-oriented HHRA approach. *Chemosphere*. 2022 Feb;288(Pt 1):132489. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132489.
- Haider, H., Alkhowaiter, M.H., Shafiquzzaman, Md., AlSaleem, S.S., Almoshageh, M., Alharbi, F., (2019). Spatiotemporal water quality variations in smaller water supply systems: using modified CCME WQI from groundwater source to distribution networks. *Water* 11, 1884.
- Horton, R.K., (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300–306.
- Howladar, M.F., Chakma, E., Jahan Koley, N., Islam, S.M., Numanbakth, M.A., Ahmed, Z.U., Chowdhury, T.R., Akter, S., (2021). The water quality and pollution sources assessment of Surma river, Bangladesh using hydrochemical, multivariate statistical and water quality index methods. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100523.
- Islam, M.S., Uddin, M.K., Tareq, S.M., Shammi, M., Kamal, A.K.I., Sugano, T., Kurasaki, M., Saito, T., Tanaka, S., Kuramitz, H., (2015). Alteration of water pollution level with the seasonal changes in mean daily discharge in three main rivers around Dhaka City, Bangladesh. *Environments* 2, 280-294.

- Kalipci, E., Cüce, H., Toprak, S., (2017). Damsa Barajı Nevşehir Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi ile Mekansal Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 312-319.
- Kangabam, R.D., Bhoominathan, S.D., Kanagaraj, S., Govindaraju, M., (2017) Development of a water quality index (WQI) for the Loktak Lake in India. *Applied Water Science*, 7(6):2907–2918. Doi: 10.1007/s13201-017-0579-4.
- Kazancı, N., Türkmen, G., Ertunç, Ö., Ekingen, P., Öz, B., Gültutan, Y., (2010). Assessment of ecological quality of Yeşilirmak River (Turkey) by using macroinvertebrate-based methods in the content of Water Framework Directive. *Review of Hydrobiology*, 3(2), 89-110.
- Khalid, S., (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14–26.
- Khanoranga, K.S., (2019) An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Baluchistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197:14–26.
- Kutlu, B., and Mutlu, E. (2021). Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and water quality assessment in the Karaca dam, Turkey. *EQA - International Journal of Environmental Quality*, 44, 26–31. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/12231>
- Kükreç, S., and Mutlu, E. (2019). Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 71. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7197-6>
- Mahobe H. and Mishra P., (2013). Study of physico-chemical characteristics of water ponds of Rajnandgaon Town, Chhattisgarh, *International Journal Science and Engineering Research*, 4 (8) 738–748.
- Mukatea, S., Wagha, V., Panaskara, D., Jacobs, J. A. & Sawant, A., (2019). Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological Indicators*, 101, 348-354.
- Mustafa, S., Baloch, N., Muhammad, S., Malik, Y., Khan, T., Bibi, M., Qadir, A., Razaque, G., Baloch, I.A., (2017). Determination of trace and heavy metals in drinking water of Jhal Magsi district of Balochistan, Pakistan. *Pure and Applied Biology (PAB)*, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 9-17, mar. 2017. ISSN 2304-2478.
- Ozdogan, N., Sefercik, U.G., Kılınç, Y., Çalışkan, E., Atalay, C. (2021). Su Kalitesinin İnsansız Hava Aracı Verileri ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Analizi ile Belirlenmesi: Aydınlar (Gülüç) Çayı Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 572-582.
- Pandit, D.N., Kumari, R., & Shitanshu, S.K., (2020). A comparative assessment of the status of Surajkund and Rani Pond, Aurangabad, Bihar, India using overall Index of Pollution and Water Quality Index. *Acta Ecologica Sinica*. doi: 10.1016/j.chnaes.2020.11.009
- Sutadian, A.D., Muttil, N., Yılmaz, A. G., Perera, B.J.C., (2016). Development of river water quality indices—A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 58.
- Şener, Ş., Şener, E., Varol, S., (2020). Hydro-chemical and microbiological pollution assessment of irrigation water in Kızılırmak Delta (Turkey). *Environmental pollution*, 266 Pt 1, 115214 .
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>.
- Şimşek A., Sancak Ş., Bakan G. (2021). Monitoring of heavy metal pollution in water and sediments at the mid-Black Sea Region by using passive sampling method diffusive gradients in thin films. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology (TURJAF)*, 9 (2021), pp. 1076-1086, 10.24925/turjaf.v9i6.1076-1086.4217.
- Taş, B., Yılmaz, Ö., Ustaoglu, F., (2021). İliman bir Türkiye nehir havzasında dere su kalitesinin çok değişkenli analiz ve biyolojik yaklaşımlarla değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 17(1), 34-55. <https://doi.org/10.22392/actaquat.751773>
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y., Xu, X., (2019). Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. *Science of the Total Environment*. 667, 142-151.
- Tokatlı, C., and Ustaoglu, F., (2020). Health risk assessment of toxicants in Meriç river delta wetland, thrace region, Turkey. *Environmental Earth Science*, 79, 426.

- Tokatli, C., (2019). Drinking water quality assessment of Ergene River basin (Turkey) by water quality index: Essential and toxic elements. *Sains Malaysiana*, 48(10), 2071–2081.
- Tokatli, C., (2021). Assessment of spatial – temporal variations in freshwater pollution by means of water quality index: A case study of Hasanağa stream basin (Edirne, Turkey). *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(2), 66-71
- Tong S, Li H, Tudi M, Yuan X, Yang L., (2021) Comparison of characteristics, water quality and health risk assessment of trace elements in surface water and groundwater in China. *Ecotoxicological Environment Safety*, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112283.
- Tursun, T., (2018). *Sürgü Kasabasının Coğrafi Etüdü. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum (Turkey)*. Master Thesis, p. 94 (In Turkish with English summary).
- Uncumusaoğlu, A.A. and Mutlu, E. (2019). Evaluating Spatial and Temporal Variation in Tuzaklı Pond Water Using Multivariate Statistical Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(5), 3861-3874. <https://doi.org/10.15244/pjoes/99103>
- Ustaoğlu F., Tepe Y., Taş B., (2019). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index, *Ecological Indicator*, 113, 105815, doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., (2019). Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *International Soil and Water Conservation Research*, 7, 47-56.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Taş, B., (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: a combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicator*, 113, 105815.
- Üstün Odabaşı, S., Ceylan, Z., Şentürk, İ., Akbal, F., Bakan, G., Büyükgüngör, H., (2022). Investigation of spatial and seasonal variation of water quality along the mid-Black Sea coast (from Sinop to Ordu) of Turkey, by multivariate statistical techniques. *Regional Studies in Marine Science*.
- Varol M., (2020). Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study. *Environmental Pollution*. v.266(Pt 3):115417. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115417.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., Şen, B., (2012). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Tigris River (Turkey) using multivariate statistical techniques ea case study. *River Research and Application*, 28, 1428-1438.
- Varol, S., Davraz, A., (2015). Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: A case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Science*, 73 (4), 1725-1744.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., Deng, J., (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914-922.
- Xiao, J., Wang, L., Deng, L., Jin, Z., (2019). Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.322>.
- Yılmaz C., ve Zeybek, H.İ., (2016). Samsun Coğrafyası, Canik Belediyesi, Kültür Yayınları.
- YSKY, (2016). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, No. 29797, 10 Ağustos 2016 Çarşamba, Ankara, Türkiye.
- Zeng, X., Liu, Y., You, S., Zeng, G., Tan, X., Hu, Xinjiang, Hu, Xi, Huang, L., Li, F., (2015). Spatial distribution, health risk assessment and statistical source identification of the trace elements in surface water from the Xiangjiang River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4064-4>.

## EDM Hızlı Delik Delme Parametrelerinin Kerf ve İşlem Süresine Etkileri

Ferhat CERİTBİNMEZ<sup>1\*</sup>

### Öz

Bu çalışmada konvansiyonel yöntemlerle delinmesi maliyetli ve zor olan yüksek sertlikteki (60-62HRC) X153CrMoV12 soğuk iş takım çeliğine elektro erozyonla hızlı delik delme tezgahında 3 mm pirinç elektrotlar kullanılarak delikler delinmiştir. Bu kapsamda üç farklı amper (5, 6, 7 A), üç farklı voltaj (1, 2, 3 V), altı farklı ark süresi (18, 22, 24, 26, 28, 29 µs), dört farklı bekleme süresi (3, 6, 8, 10 µs) parametrelerinin işleme süresi ve delinen deliklerde oluşan kerf üzerine etkileri makro analizler ve analitik ölçümlerle tespit edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde kerf açısına ve işleme zamanına etkisi en yüksek parametrenin işleme akımı olduğu tespit edilmiştir. Akım, voltaj ve ark süresinin artması işleme süresini azaltırken, bekleme süresinin artmasıyla işleme süresi artmıştır. Genel olarak elektrot malzemesinin içerisinden ve dışarısından dielektrik sıvı püskürtülmesiyle aşınan partiküllerin ortamdaki tahliye edilmesine bağlı olarak işleme parametrelerinin kerf üzerinde doğrusal olmayan bir etki yaptığı tespit edilmiştir. En düşük kerf açısı ve en yüksek işleme süresine maksimum akım değeri 7A, 3V voltaj, 29 µs ark süresi ve 3 µs bekleme süresi çalışma parametreleri kullanılarak ulaşılmıştır. Ayrıca delik giriş çapında 170 µm, çıkış çapında ise 220 µm boyutsal tamlık elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hızlı Delik Delme, X153CrMoV12, Kerf, İşleme Süresi.

## Effects of EDM Fast Drilling Parameters on Kerf and Process Time

### Abstract

In this study, holes were drilled on X153CrMoV12 cold work tool steel with high hardness (60-62HRC), which is difficult and costly to drill with conventional methods, using 3 mm brass electrodes on a fast hole drilling machine by electro-erosion. In this context, the effects of three different amperes (5, 6, 7 A), three different voltages (1, 2, 3 V), six different pulse on-time (18, 22, 24, 26, 28, 29 µs), four different pulse off-time (3, 6, 8, 10 µs) parameters on the processing time and the Kerf formed in the drilled holes were determined by macro analysis and analytical measurements. As a result of the analysis, it has been determined that the parameter with the highest effect on the kerf angle and machining time is the machining current. The processing time increased with the increase of the pulse off time on the other hand the increase in current, voltage and pulse on time decreased the machining time. In general, it has been determined that the processing parameters have a non-linear effect on the kerf due to the pressure flushing of dielectric liquid from the inside and outside of the electrode material, and the evacuation of the abraded particles from the environment. The lowest kerf angle and the highest processing time were achieved using the operating parameters of 7A maximum current, 3V voltage, 29 µs pulse on time and 3 µs pulse off time. In addition, a dimensional accuracy of 170 µm in the hole inlet diameter and 220 µm in the output diameter was obtained.

**Keywords:** Fast Drilling, X153CrMoV12, Kerf, Machining Time.

<sup>1</sup>Haier Europe, Candy - Hoover Group, Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Eskişehir, Türkiye, ferhatceritbinmez@gmail.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5615-3124>

## 1. Giriş

Elektro Erozyon ile İşleme (Electric Discharge Machining-EDM) iletken malzemelerden elektrik enerjisini kullanarak kıvılcım boşalımı, ergime ve buharlaşma yoluyla talaş kaldırma yöntemidir (Paul ve ark., 2013; Singh ve ark., 2022). Bu yöntem dalma erozyon, tel erozyon, EEİ ile hızlı delik delme gibi çeşitleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Kliuev ve Wegener, 2020). Ayrıca bu yöntemlerde mekanik kuvvet yerine termal etkinin kullanılması, malzemeye temas olmaması, geleneksel teknolojilerle “kesilmesi zor” kabul edilen sert ve yüksek mukavemetli malzemelerin sertliğinden bağımsız talaş kaldırılması ve çapak oluşmaması gibi sebeplerle bir çok alanda kullanımı cazip hale gelmektedir (Sapkal ve Jagtap, 2018; Weiwen ve ark., 2018). Genel olarak EEİ yönteminin havacılık, otomotiv ve biyomedikal alanlarında yoğun kullanımı vardır (Singh ve ark., 2022; Maccarini ve ark., 2020). Özellikle kalıpcılık sektöründe kullanılan sert çeliklerin işlenmesi sırasında kırılan takımların (rayba, klavuz, matkap, freze çakısı) çelik içerisinden çıkarılmasında, tel erozyon işlemi öncesi tel elektrota klavuzluk yapan ön deliklerin delinmesinde, konvansiyonel yöntemlerle delinmesi mümkün olmayan sert çeliklerin mikro veya makro delinmesinde EEİ ile hızlı delik delme yöntemi çözüm olmaktadır. İmalat süreçlerinde malzemelere delik delmek için harcanan zaman tüm imalat süresinin yaklaşık %50-70’ini oluşturmaktadır bu sebeple önemi çok büyüktür (Tanjilul ve ark., 2018; Kuppan ve ark., 2008). Kalıp veya makine parçalarında kullanılan yüksek sertlikteki çeliklerin kullanım yerlerine montaj edilmesi için üzerlerine bağlantı delikleri veya klavuz delikler açılmaktadır. Endüstride yaygın kullanım alanına sahip olan soğuk iş takım çeliği 1.2379 (X153CrMoV12) sert kalıp çeliklerindedir (Ceritbinmez, 2021). Bu çelik yaklaşık 60-62HRC sertliğe ulaştığı için konvansiyonel yöntemlerle delinmesi pek mümkün değildir (Younis ve ark., 2015). Bu sebeple EEİ yöntemi ile hızlı delik delme bu tür sert çeliklerin delinmesinde avantaj sağlamaktadır. Pushpendra ve Bharti, titanyum alaşım (Ti-6Al-4V) malzemesini EEİ yönteminde 500µm çapında boru şeklinde pirinç elektrot ile delerek akım, ark süresi ve bekleme süresi giriş parametrelerinin delme hızı ve elektrot aşınma oranı üzerine etkilerini incelemiştir. Yapmış oldukları Anova analiz sonuçlarına göre yüksek akım değerinin yüksek deşarj enerjisi yarattığını bu sebeple kıvılcım boşalımı’nın artmasıyla hızlı ergime ve yüksek delme hızına ulaşıldığını bildirmişlerdir. Ayrıca bekleme süresinin artmasının ergiyen malzeme miktarının tahliyesinde avantaj sağladığını fakat işlem süresini arttırarak kesme hızının düşmesine sebep olduğunu vurgulamışlardır. Akım ve ark süresinin artmasıyla elektrot aşınma oranının arttığını, artan deşarj enerjisi ile işlenmiş yüzeylerdeki krater ve beyaz tabaka kalınlığının arttığını rapor etmişlerdir (Pushpendra ve Bharti, 2022). Göv, EEİ yönteminde pirinç tüp elektrot kullanarak DIN 1.2379 malzemesinin delinmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında 10 A akım, 30 V voltaj, 200 dev/dak elektrot dönüş hızı, 100 bar dielektrik sıvı basıncı, 27 µs ark ve 10 µs bekleme sürelerini sabit tutarak dielektrik sıvı



sıcaklığını -50, -20, 0, 10 ve 20 °C arasında değişken olarak kullanmıştır. Derin deliklerin elde edilmesinde dielektrik sıvı sıcaklığının -50 °C'ye düşürülmesiyle işleme hızında yaklaşık % 30 iyileşme sağlandığını, 0 °C altına inildikçe elektrot aşınma oranının % 17 azaldığını rapor etmiştir. Elektrot aşınmasının azalmasıyla delik giriş ve çıkış ölçü farkının azaldığını, buna bağlı olarak delik konik açısının azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca dielektrik sıvı sıcaklığının düşmesi ile işlenen yüzeylerdeki yeniden döküm tabakasının kalınlığının azalmasıyla iş parçasının servis ömrü ve yorulma mukavemetinin artış gösterdiğini vurgulamıştır (Göv, 2017). Chiou ve diğerleri, yüksek hız çeliği alaşımı (SKH59) malzemesini mikro EDM frezeleme yönteminde üç farklı elektrot malzemesi ile işleyerek elektrot kaplama ve iyileştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Elektrotlar üzerine yapılan kaplamaların daha iyi elektriksel ve termal özellikler sağlamasından dolayı; gümüş (Ag) film ile kaplanmış tungsten karbür elektrot kullanımında işlenmiş yüzeylerin en düşük pürüzlülükte olduğunu, bakır (Cu) film ile kaplanmış tungsten karbür elektrotlar ile en yüksek talaş kaldırma oranına ulaşıldığını, tungsten karbür(WC) elektrotların ise en düşük aşınmayı sergilediğini rapor etmişlerdir (Chiou ve ark, 2015). Liu ve Bai, EEİ yönteminde hızlı delik delerek elektrot aşınma ve boşluk akışkan alanı simülasyon analizi yapmıştır. Elektrot aşınmasının özelliklerini elde etmek ve işlemede akış alanı dağılımının etkisini doğrulamak için yapılan çalışmalar neticesinde derinlik-çap oranlarının artmasıyla elektrodun aksel aşınma miktarının arttığını rapor etmişlerdir (Liu ve Bai, 2020). Ceritbinmez ve Yapıcı, krom-molibden-vanadyum alaşımli 60-62 HRC sertliğindeki sleipner soğuk iş takım çeliğinden elektro erozyon yönteminde bakır krom zirkonyum alaşımı elektrot kullanarak talaş kaldırmıştır. İşleme parametrelerinden düşük ark süresi ve yüksek bekleme süresi değerlerinde elektrot malzemesinin birim zamanda daha çok çalışmasıyla aşındığını bu aşınma neticesinde iş parçası üzerinde kerf değerinin arttığını bildirmişlerdir (Ceritbinmez ve Yapıcı, 2021). Ahmed ve diğerleri, Inconel 718'in pirinç, bakır (Cu) ve bakır tungsten (CuW) gibi farklı elektrot malzemeleri ve hibrit EDM kullanılarak ultra hızlı delinmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Pirinç elektrot kullanımında en yüksek talaş kaldırma oranının elde edildiğini, bunu Cu ve CuW elektrotların izlediğini bildirmişlerdir. Ayrıca CuW'in sahip olduğu yüksek mukavemet değerlerinden dolayı en düşük elektrot aşınma oranını (EWR) sergilediğini, sırasıyla bakır ve pirinç elektrodun ise düşük ergime noktasına sahip olmalarından dolayı en yüksek aşınmayı gösterdiğini vurgulamışlardır. EEİ gibi termal yöntemlerle delik delme esnasında yüksek sıcaklıklar altında aşınan ve buharlaşan iş parçası ve elektrot malzeme kalıntılarının ortamdaki tahliye edilmesi için kullanılan su bazlı dielektrik sıvıların kimyasal tepkimeler sonucu hidrojen ve oksijene dönüşmesiyle iş parçası ve elektrot üzerinde oksit tabakası oluştuğunu rapor etmişlerdir (Ahmed ve ark, 2020). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde endüstriyel kullanım alanı yüksek olan konvansiyonel yöntemlerle işlenmesi zor ve maliyetli olan malzemelere EEİ yöntemi ve farklı elektrot malzemeleri kullanılarak makro ve mikro delikler delinmeye çalışılmıştır. İş parçası, elektrot malzemeleri ve dielektrik sıvıların mekanik ve

termal özellikleri ne kadar farklılıklar gösterebilir elektrot malzemesi işlem sırasında aşınır. Elektrot malzemesinin aşınmasından kaynaklı iş parçası delik giriş ve çıkış ölçüleri farklı olur. Kullanım yerine uygunluk ve boyutsal tamlik sağlanması için bu ölçülerin kontrol altında tutulması gereklidir. Bunun en uygulanabilir yolu akım, voltaj, ark ve bekleme süresi gibi çalışma parametrelerinin etkilerinin tespiti ve bu parametrelerin uygun değerlerde kullanılması ile mümkündür (Nas ve ark., 2021).

Bu çalışmada yüksek aşınma dayanımı ve yüksek tokluk özelliklerinden dolayı otomotiv, beyaz eşya, demir çelik ve kalıpcılık gibi sektörlerde kullanımı çok yüksek olan soğuk iş takım çeliğinin EEİ yöntemi ile delinmesi çalışılmıştır. Endüstriyel uygulamalarda işleme zamanı ve iş parçasının kullanım yerine uygunluğu ve boyutsal tamlığı maliyet açısından büyük önem arz eder. Bu sebeple bu çalışmada EEİ’de kullanılan işleme parametrelerinin deliklerin boyutsal tamlığını etkileyen kerf ve işleme zamanına etkileri incelenmiştir. Bu makaleden elde edilen sonuçlar, işleme süresinin azaltılmasında ve kerf ölçüsünün asgari düzeyde tutulmasında endüstriyel uygulamalar için çok değerli bir referans olma potansiyelini barındırmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. X153CrMoV12 İş Parçası

Bu çalışmada iş parçası olarak endüstriyel uygulamalarda özellikle saç metal kalıplarında, zımba imalatında ve biçimleme merdanelerinde kullanılan yüksek karbonlu soğuk iş takım çeliği olan AISI D2 (EN X153CrMoV12) kullanılmıştır (Ociepa ve ark., 2021). Ticari ismi ile 1.2379 (X153CrMoV12) olarak adlandırılan bu malzeme %1,55 karbon, %1 molibden, %1 vanadyum ve %12 krom içeren ledeburitik bir soğuk iş takım çeliğidir ayrıca tavlanmış ve ısıtılarak 60-62 HRC sertliğine getirilmiştir (Aragaw ve ark., 2020). Bu çeliğin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri sırası ile Tablo 1 ve 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** 1.2379 (X153CrMoV12) Kimyasal Bileşeni (Sağlam Metal, 2022)

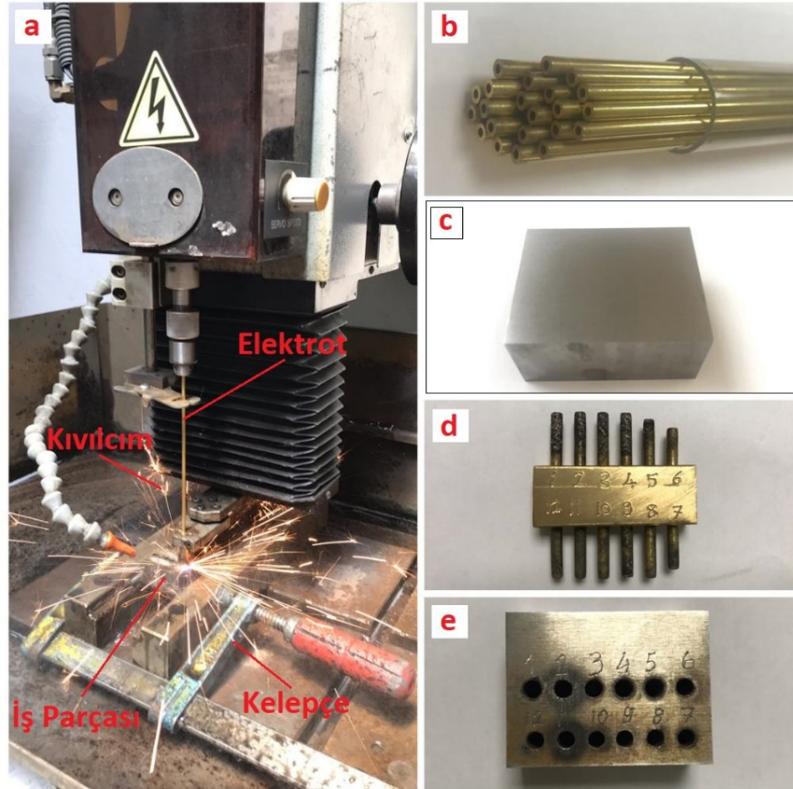
Karbon (% C)	Krom (% Cr)	Molibden (% Mo)	Vanadyum (% V)
1,55	12	0,8	0,9

**Tablo 2.** 1.2379 (X153CrMoV12) Mekanik Özellikleri (Sağlam Metal, 2022)

Sertlik (HRC)	Termal İletkenlik (W/mK)	Akma Dayanımı (MPa $\geq$ )	Termal Genleşme katsayısı ( $^{\circ}$ K) $^{-1} \times (10)^{-6}$	Yoğunluk (g/cm $^3$ )
60-62	16,7	420	10.5 - 13.00	7,85

## 2.2. İşleme Metodu

X153CrMoV12 malzemesinin elektro erozyon işleme yöntemi ile delinmesinde Oscarmax SD 400 ZNC PLUS 50 Amper gücünde hızlı delik delme EDM (electric discharge machining) makina kullanılmıştır (Şekil 1a). EEİ ile delme öncesi iş parçası Makino S33 (CNC) ve Proth satıh taşlama tezgahları kullanılarak 0,005 mm ölçüm hassasiyeti ile işlenerek taşlanmıştır (Şekil 1c). Hazırlanan test malzemeleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Tüm yüzeyleri taşlanmış iş parçası CNC tezgahlarında işlenerek 40 x 30 x 20 mm kütük profiline getirilmiştir daha sonra EEİ yönteminde iş parçasına 3 mm çapında delikler delinmiştir. Delik delme işleminde dış çapı 3 mm, iç çapı 1.5 mm olan pirinç elektrot tüpler kullanılmıştır (Şekil 1b). Her bir delik için yeni bir pirinç elektrot kullanılarak işlem sonrası kullanılan elektrot ucu kesilerek analiz edilmiştir (Şekil 1d). Tüm deneylerde elektrot malzeme iş parçasını 20 mm yüksekliğinde boydan boya delmiştir (Şekil 1e).



**Şekil 1.** Test Malzemeleri: (a) SD 400 ZNC PLUS 50A (b) Pirinç elektrotlar (c) İş parçası (d) İşlenmiş elektrotlar (e) Delinmiş iş parçası

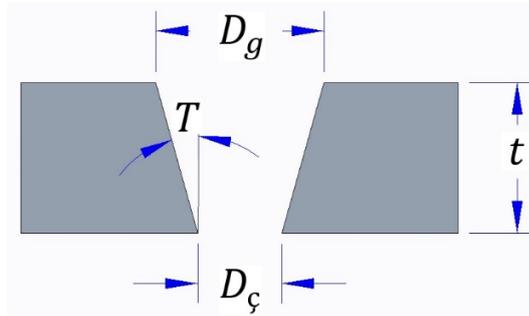
Elektrot ve iş parçası arasındaki talaşın tahliyesi için elektrot içerisinden ve spiral hortumlar ile elektrot dışından dielektrik sıvı (saf su) püskürtülerek erozyon işlemi dielektrik sıvı altında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1a). Deney öncesinde iş parçası EEİ tezgahına vidalı kelepçeler ile sabitlenmiştir. Elektrot diklik ayarı her bir deney öncesi makine mandreni kullanılarak hassas şekilde yapılmıştır.

### 2.3. Delinen Deliklerin Kerf Analizi

EEİ ile delme sonrası test malzemesi yüksek basınçlı hava kullanılarak dielektrik sıvı ve curuf kalıntılarından temizlenmiştir. Talaş kaldırma işlemi sonrası delik giriş ve çıkış ölçüleri Mitutoyo kumpas kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir delik çapı için 3 farklı ölçüm yapılarak ortalama değerler rapor edilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde delik giriş çaplarının delik çıkış çaplarından büyük olduğu bu sebeple kerf açısı olduğu görülmüştür. Oluşan kerf açısının hesaplanmasında denklem 1’de belirtilen eşitlik kullanılmıştır.

$$\text{Kerf Açısı } (T) = \text{Arctan} \left( \frac{D_g - D_ç}{2 \cdot t} \right) \quad (1)$$

Bu eşitlikte belirtilen  $D_g$  elektrodun iş parçasına girişte açtığı delik giriş çapı,  $D_ç$  ise elektrodun iş parçasından çıktığı anda oluşturduğu delik çıkış çapıdır. İş parçası kalınlığı olan  $t$  ise tüm deneylerde eşit olan 20 mm değeridir. Delik giriş ve çıkış farklılıklarından kaynaklanan kerf açısı  $T$  ise Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kerf Açısı Ölçümü (Skrabalak et al., 2018)

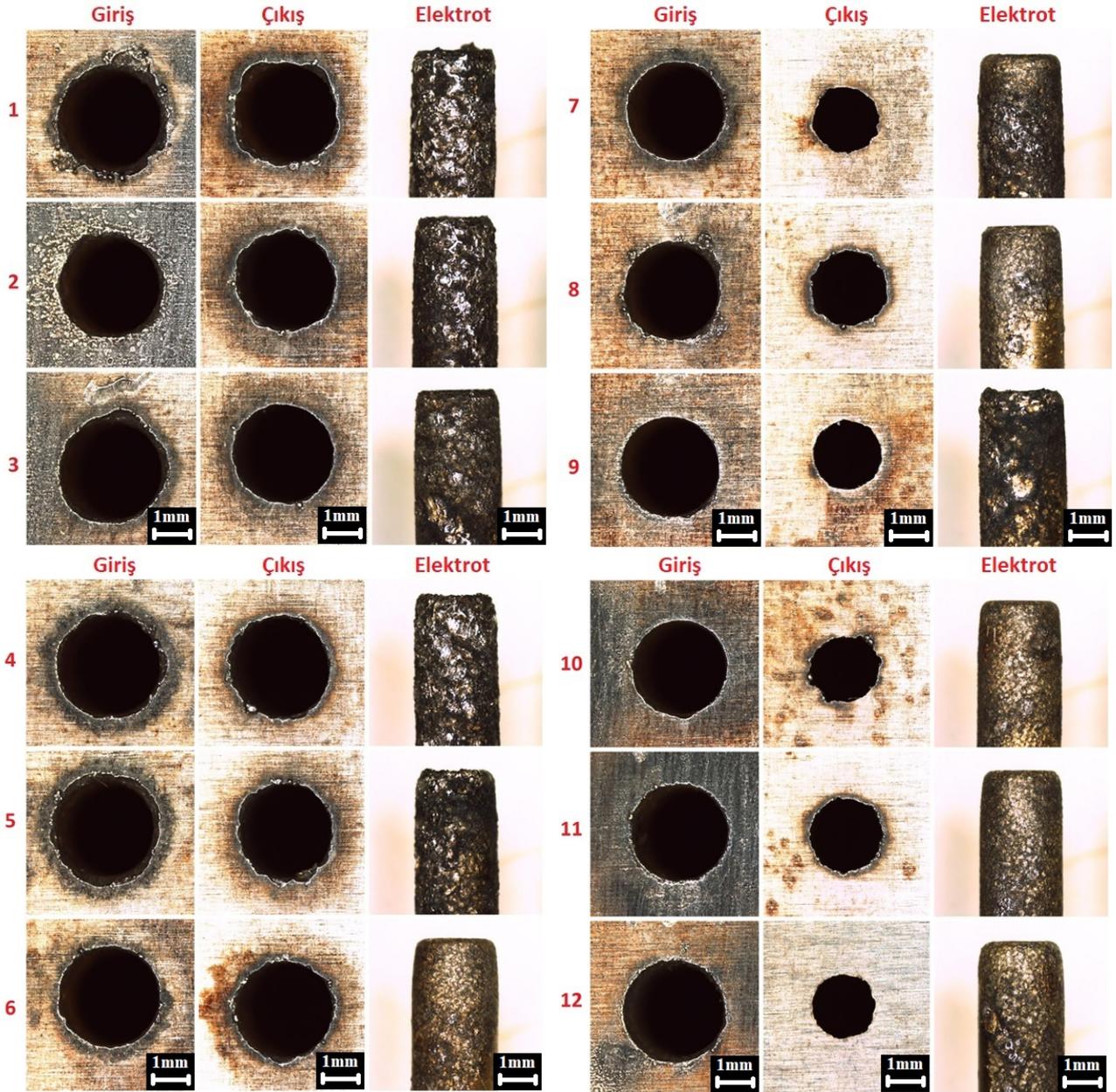
### 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı hızlı delik delme parametreleri kullanılarak delinen deliklerin giriş-çıkış ölçüleri, kerf bilgisi ve işleme süreleri Tablo 3’te listelenmiştir. Deneylerde kullanılan akım, voltaj, ark ve bekleme sürelerinin delinen deliklerin giriş-çıkış çaplarına, giriş-çıkış çap farklılıklarından kaynaklı kerf oluşumuna ve işleme süresine etki ettiği görülmüştür.

**Tablo 3.** Hızlı delik delme işleme parametreleri ve analiz sonuçları

Deney No	Akım (A)	Voltaj (V)	Ark Süresi ( $\mu$ s)	Bekleme Süresi ( $\mu$ s)	Delik Giriş Ölçüsü (mm)	Delik Çıkış Ölçüsü (mm)	Kerf Açısı (derece)	İşleme Süresi (sn)
1	7	3	29	3	3,48	3,43	0,072	120
2	6	3	29	3	3,44	3,30	0,201	240
3	5	3	29	3	3,40	3,27	0,187	300
4	7	3	28	3	3,60	3,44	0,230	240
5	7	3	26	3	3,50	3,30	0,287	180
6	7	3	24	3	3,30	3,22	0,115	180
7	6	3	22	3	3,20	2,26	1,351	120
8	6	2	22	3	3,19	2,56	0,906	180
9	6	1	22	3	3,17	2,30	1,250	240
10	6	3	18	6	3,23	2,25	1,409	180
11	6	3	18	8	3,32	2,60	1,035	240
12	6	3	18	10	3,37	2,14	1,768	300

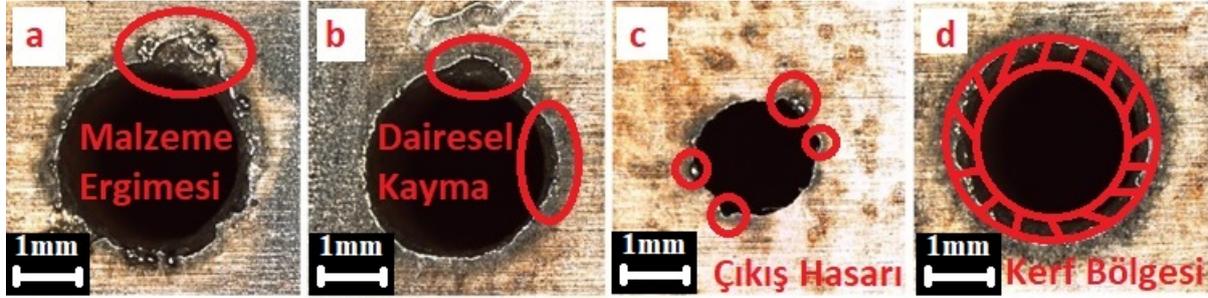
Yapılan deneylerde çalışma parametrelerinin etkilerinin anlaşılması için her bir giriş parametresi için en az 3 değişken seçilerek diğer parametreler sabit tutulmuştur. Hızlı delik delme sonrası her bir delik giriş-çıkış çapları ve yüzeyleri ayrı ayrı analiz edilmiştir. Delik daireselliğinin, giriş-çıkış deformasyonlarının ve elektrot aşınmalarının tespit edildiği makro görüntüler Nikon SMZ 745T mikroskop kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3). Elektro erozyonla delik delme işlemi elektro-termal işleme prosesidir. Burada elektrik enerjisi elektrik kıvılcımı (ark) oluşturmak için kullanılır ve neticesinde termal enerji ile talaş kaldırılır (Ye ve ark, 2020). Elektrot (katot) malzemesinden iş parçasına (anot) aktarılan yoğun elektriksel deşarj neticesinde yoğun kıvılcım boşalımı meydana gelerek iş parçası yüzeyinde yüksek ısı ve ergime meydana gelir. Bu süreçte iş parçası yüzeyinden kopan partiküller ortama püskürtülen dielektrik sıvı yardımı ile tahliye edilir. Elektrot ve iş parçası arasında daima işleme boşluğu vardır (Güven ve ark, 2022). Aşınan elektrot ve iş parçası bu boşlukta katılaşırlar ve dielektrik sıvının akışına katılırlar (Feng ve ark, 2018). Eğer yeterli tahliye sağlanamazsa aşınan partiküller elektrot yüzeyine veya iş parçası yüzeyine yapışarak katılaşmaya çalışırlar. Bu durum çalışma parametrelerinin işlevini yapmasına engel olur.



Şekil 3. Deney numunelerinin optik mikroskop görüntüleri

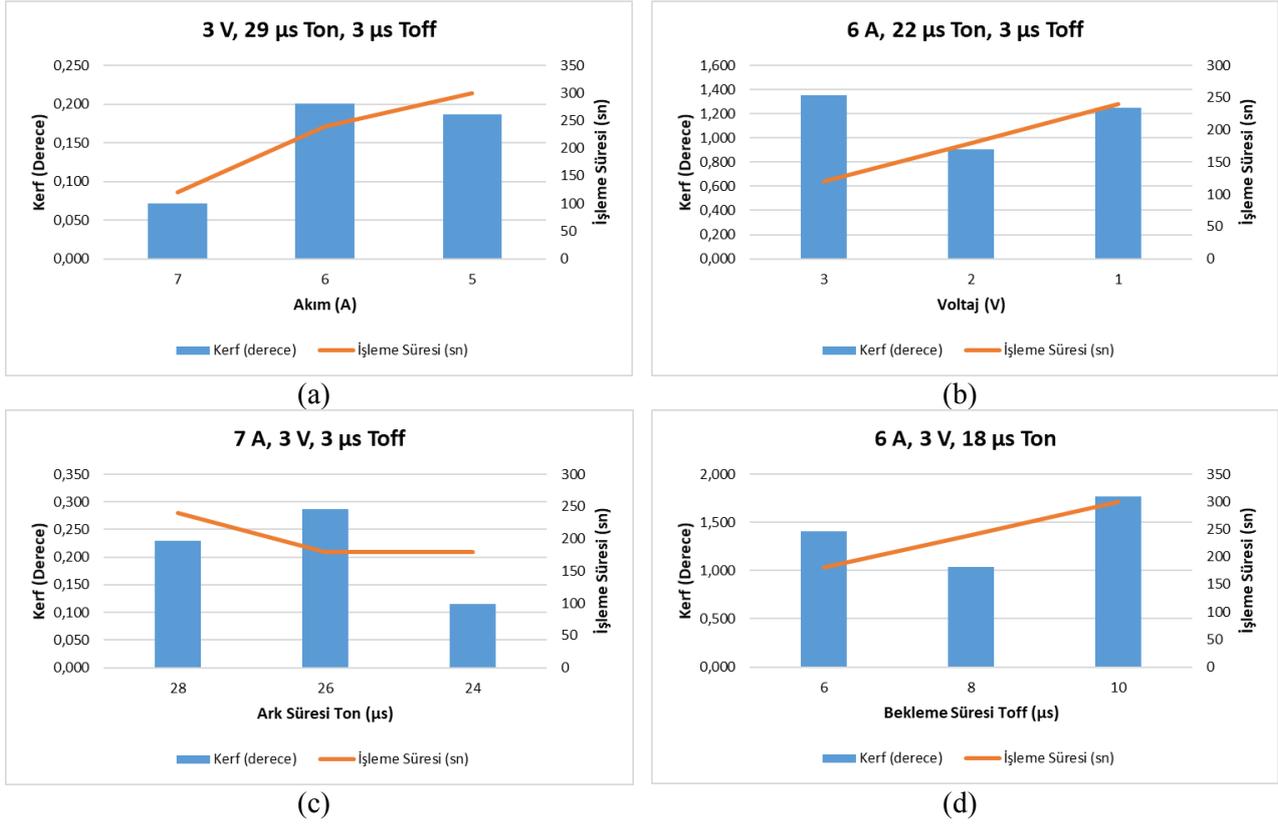
7 A, 3 V, 29  $\mu$ s ark ve 3  $\mu$ s bekleme süresi çalışma parametreleri ile elde edilen Şekil 4(a)'da elektrodun iş parçasına ilk giriş yaptığı anda iş parçasını ergittiği ve yüksek akım ve kıvılcım boşalımı sebebiyle malzemenin delik etrafına yığılıp katılaştığını göstermektedir. EEİ ile delik delmede tüp şeklinde elektrot mandren yardımı ile sisteme bağlanır ve yaklaşık 1000 dev/dak ile döner (Ni ve ark, 2018). Elektrot içerisinden ve spiral hortumlar yardımı ile elektrot dışından ark bölgesine dielektrik sıvı püskürtülür. Gerek su basıncı gerekse elektrot malzemesinin dönme esnasında aşınması ve özellikle iş parçasına ilk giriş yaptığı andaki dalgalanmadan dolayı; 5 A, 3 V, 29  $\mu$ s ark ve 3  $\mu$ s bekleme süresi çalışma parametreleri ile elde edilen Şekil 4(b)'de gösterilen dairesel kayma tespit edilmiştir. Elektrot tüp'ün iş parçasını boydan boya tam delik olarak delmesi neticesinde elektrodun iş parçasından çıktığı anda aşınan partiküller iş parçası çıkış yüzeyine saçılır ve orada katılır bu durum 6 A, 3 V, 18  $\mu$ s ark ve 6  $\mu$ s bekleme süresi çalışma parametreleri ile elde edilen şekil 4(c)'de

belirtilen çıkış hasarı olarak görülmüştür. Elektrot malzemesi iş parçasına ilk yaklaştığında en büyük çap ölçüsündedir bu sebeple iş parçası giriş delik çapı elektrot çapına yakın değerdedir. Fakat elektrodun iş parçası içerisinde ilerlemesi esnasında uç ve kenar kısımları aşınır yani çapı azalır bu sebeple iş parçası çıkış deliği giriş deliğine göre daha küçük çapta olur. İş parçası giriş ve çıkış çaplarının farklı olması sebebi ile 7 A, 3 V, 26  $\mu$ s ark ve 3  $\mu$ s bekleme süresi çalışma parametreleri ile elde edilen Şekil 4(d)'de belirtilen taralı alanda kerf bölgesi oluşur.



Şekil 4. Yüzey analizi: (a) Malzeme ergimesi (b) Dairesel kayma (c) Çıkış hasarı (d) Kerf bölgesi

EEİ yönteminde anot ve katot arasında elektriksel yük taşıyan parçacıkların hareketi akımın artması ile artar. Voltaj, ark ve bekleme sürelerinin sabit tutularak akımın artırıldığı deney sonucu Şekil 5(a)'da verilmiştir. Burada akımın artması işleme süresini kısaltmıştır; artan kıvılcım boşalımı elektrodun boydan aşınmasını arttırarak tükenmesine ve kerf açısının azalmasına sebep olmuştur. Akım, ark ve bekleme sürelerinin sabit tutularak voltajın azaltıldığı deney sonuçlarının grafiği Şekil 5(b)'de gösterilmiştir. Uygulanan voltaj kıvılcımın toplam enerjisini belirler. Voltaj değerinin yüksek olduğu durumlarda erozyon oranı artar ve daha yüksek işleme hızı elde edilir (Jahan, 2013). Voltaj arttıkça işleme zamanının azaldığı, kerf açısının arttığı tespit edilmiştir. Ark süresi EEİ esnasından akımın iş parçasına aktığı süredir yani işin yapıldığı zamandır. Kıvılcım döngüsünün 'iş' kısmıdır. Mevcut akışlar ve iş sadece bu süre zarfında yapılır. Ark süresinin 29  $\mu$ s olduğu deneyde işleme süresinin en düşük olduğu görülmüştür; genel olarak Şekil 5(c)'de görüldüğü üzere ark süresi arttıkça işleme süresi azalmıştır. Bekleme süresi iki ardışık kıvılcım boşalımı (ark süresi) arasındaki bekleme (yeniden iyonizasyon için gerekli dinlenme veya duraklama) süresidir (Jahan, 2013). Bu süre içinde kıvılcım boşalımı boşluğunda bulunan erimiş malzemenin katılaşması ve dielektrik sıvı yardımı ile ortamdaki tahliyesi olur. Akım, voltaj ve ark süresinin sabit tutularak bekleme süresinin artırılması neticesinde Şekil 5(d)'de görüldüğü gibi bekleme süresi arttıkça işleme süresi artmıştır ayrıca kerf açısı ise önce azalmış daha sonra artmıştır. Genel olarak kerf açısı ve işleme zamanı aşınan iş parçası ve elektrot kalıntılarının ortamdaki tahliye edilmesine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. En yüksek bekleme süresinde aşınan partiküllerin elektrot gövdesine yapışarak elektrot uç kısımlarının gövdesine göre daha fazla aşınmasına sebep olduğu, bu durumun da kerf açısını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 5. Çalışma parametrelerine bağlı olarak değişen Kerf ve işleme süreleri: (a) Akım, (b) Voltaj, (c) Ark süresi, (d) Bekleme süresi

Yüksek en boy oranına sahip mikro delikler EEİ yöntemi kullanılarak kolayca delinebilmektedir. Ancak artan delik derinliği ile elektrot uç kısımları konik hale gelir; böylece deliklerde koniklik görülür. Koniklik oranı 12 mm derinliğe kadar artar ancak daha sonra neredeyse sabit kalır çünkü elektrot uç kısımlarında oluşan aşınma neticesinde elektrot malzeme incilir ve tükenir (Kumar ve ark., 2019).

#### 4. Genel Sonuçlar

EEİ ile delik delme deneyleri sonrası elde edilen deliklerin makro görüntü ve kerf ölçüm analiz sonuçlarına göre;

- EEİ esnasında pirinç elektrotların uç kısımlarındaki aşırı elektrik yoğunluğundan dolayı en çok aşınma uç kısımlarında meydana gelmiştir. İş parçası üzerinde delinen delikler elektrot formunu aldığı için tüm deneylerde delik giriş çaplarının delik çıkış çaplarından daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

- Akımın artması iş parçası ve elektrot arasında yoğun kıvılcım boşalımı sağlayarak ergime ve buharlaşmayı arttırmıştır bunun neticesinde işleme süresini kısaltmıştır. Artan kıvılcım boşalımı elektrodun boydan aşınmasını arttırarak tükenmesine ve kerf açısının azalmasına sebep olmuştur.



• Voltaj değeri artmasıyla kıvılcımın toplam enerjisinin paralel olarak artmasına bağlı olarak erozyon oranı artmıştır ve daha yüksek işleme hızı elde edilmiştir. Ayrıca voltaj arttıkça işleme zamanının azaldığı, kerf açısının arttığı tespit edilmiştir.

• Ark süresinin 29  $\mu$ s olduğu deneyde işleme süresinin en düşük olduğu görülmüştür; genel olarak ark süresi arttıkça işleme süresi azalmıştır.

• Bekleme süresi arttıkça işleme süresi artmıştır ayrıca kerf açısı ise önce azalmış daha sonra artmıştır. Genel olarak kerf açısı ve işleme zamanı aşınan iş parçası ve elektrot kalıntılarının ortamdan tahliye edilmesine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. En yüksek bekleme süresinde aşınan partiküllerin elektrot gövdesine yapışarak elektrot uç kısımlarının gövdesine göre daha fazla aşınmasına sebep olduğu, bu durumun da kerf açısını arttırdığı görülmüştür.

• En düşük kerf açısı ve en yüksek işleme süresine maksimum akım değeri 7A, 3V voltaj, 29  $\mu$ s ark süresi ve 3  $\mu$ s bekleme süresi çalışma parametreleri kullanılarak ulaşılmıştır. Ayrıca delik giriş çapında 170  $\mu$ m, çıkış çapında ise 220  $\mu$ m boyutsal tamlık elde edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışmadaki Oscarmax SD400 EDM makinasının çalıştırılmasında görev alan Haier Europe, Candy-Hoover kalıphane çalışanlarına, mikroskobik görüntülerin elde edilmesine olanak sağlayan MEGEM (meslek edindirme ve geliştirme merkezi) ve mekanik test laboratuvarı teknik sorumlusu / Teknik Öğretmen Yasin ÖZEN'e teşekkür ederim.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Ahmed, A., Tanjilul, M., Rahman, M., & Kumar, A. S. (2020). Ultrafast drilling of Inconel 718 using hybrid EDM with different electrode materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(5), 2281-2294. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04769-w>
- Aragaw, E. M., Gärtner, E., & Schubert, A. (2020). Combined laser hardening and laser surface texturing forming tool 1.2379. *Procedia CIRP*, 94, 914-918. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.09.072>
- Ceritbinmez, F. (2021), "An investigation on cutting of the cold work steel X153CrMoV12 by WEDM", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 93 No. 10, pp. 1674-1680. <https://doi.org/10.1108/AEAT-01-2021-0028>
- Ceritbinmez, F. & Yapıcı, A. (2021). Sleipner Soğuk İş Takım Çeliğinin Elektro-Erozyon Tezgaahında Bakır Krom Zirkonyum Alaşımı Elektrot ile İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Kerf ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi . *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* , 11 (2) , 570-583. <https://doi.org/10.31466/kfbd.948444>

- Chiou, A. H., Tsao, C. C., & Hsu, C. Y. (2015). A study of the machining characteristics of micro EDM milling and its improvement by electrode coating. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(9), 1857-1864.
- Feng, Y., Guo, Y., Ling, Z., & Zhang, X. (2019). Micro-holes EDM of superalloy Inconel 718 based on a magnetic suspension spindle system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101(5), 2015-2026. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-3075-6>
- Günen, A., Ceritbinmez, F., Patel, K., Akhtar, M. A., Mukherjee, S., Kanca, E., & Karakas, M. S. (2022). WEDM machining of MoNbTaTiZr refractory high entropy alloy. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 38, 547-559. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.05.021>
- Gov, K. (2017). The effects of the dielectric liquid temperature on the hole geometries drilled by electro erosion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1), 1255-1262. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0231-3>  
<https://www.saglammetal.com/tr/celik/takim-ceklikleri/soguk-is-takim-ceklikleri/12379-x153crmov12> (Erişim 11.04.2022)
- Jahan, M.P. (2013). Micro-Electrical Discharge Machining. In: Davim, J. (eds) Nontraditional Machining Processes. Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5179-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5179-1_4)
- Kliuev, M., & Wegener, K. (2020). Method of Machining Diffusers in Inconel 718 Turbine Blades for Film Cooling using EDM Drilling and Shaping. *Procedia CIRP*, 95, 511-515. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.10.001>
- Kumar, K., Singh, V., Katyal, P., & Sharma, N. (2019). EDM  $\mu$ -drilling in Ti-6Al-7Nb: experimental investigation and optimization using NSGA-II. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(5), 2727-2738. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04012-6>
- Kuppan, P., Rajadurai, A., & Narayanan, S. (2008). Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(1), 74-84. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1084-y>
- Liu, H., & Bai, J. (2020). The Tool Electrode Wear and Gap Fluid Field Simulation Analysis in Micro-EDM Drilling of Micro-hole Array. *Procedia CIRP*, 95, 220-225. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.278>
- Maccarini, G., Pellegrini, G., & Ravasio, C. (2020). Effects of the properties of workpiece, electrode and dielectric fluid in micro-EDM drilling process. *Procedia Manufacturing*, 51, 834-841. DOI:10.1016/j.promfg.2020.10.117
- Nas, E., Zurnacı, E. & Yıldırım, S. (2021). Sertleştirilmiş AISI H13 Takım Çeliğinin Delme Performansını İyileştirmek İçin Elektro Erozyon İşleme Parametrelerinin Taguchi Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi ve Optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 99-110. <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.03>
- Ni, H., Gong, H., Dong, Y. H., Fang, F. Z., & Wang, Y. (2018). A comparative investigation on hybrid EDM for drilling small deep holes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(1), 1465-1472. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1282-1>
- Ociepa, M., Jenek, M., & Kuryło, P. (2021). The Geometric Surface Structure of EN X153CrMoV12 Tool Steel after Finish Turning Using PCBN Cutting Tools. *Coatings*, 11(4), 428. <https://doi.org/10.3390/coatings11040428>
- Paul, G., Roy, S., Sarkar, S., Hanumaiah, N., & Mitra, S. (2013). Investigations on influence of process variables on crater dimensions in micro-EDM of  $\gamma$ -titanium aluminide alloy in dry and oil dielectric media. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(5), 1009-1017. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4235-8>
- Sapkal, S. U., & Jagtap, P. S. (2018). Optimization of micro EDM drilling process parameters for titanium alloy by rotating electrode. *Procedia Manufacturing*, 20, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.017>
- Singh, N., & Bharti, P. S. (2022). Multi-Objective parametric optimization during micro-EDM drilling of Ti-6Al-4 V using teaching learning Based optimization algorithm. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.257>
- Singh, S. K., Mali, H. S., Unune, D. R., Abdul-Rani, A. M., & Wojciechowski, S. (2022). Material independent effectiveness of workpiece vibration in  $\mu$ -EDM drilling. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 531-546. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.063>
- Singh, R., Dhama, S. S., & Rajput, N. (2022). Comparison of EDM and ECM machined AISI 304 steel: Surface roughness, hardness and morphological characteristics. *Materials Today: Proceedings*, 48, 965-974. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.031>

- Skrabalak, G. (2018). Influence of electrode tool length on the micro EDM drilling performance. *Procedia CIRP*, 68, 594-598. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.120>
- Tanjilul, M., Ahmed, A., Kumar, A. S., & Rahman, M. (2018). A study on EDM debris particle size and flushing mechanism for efficient debris removal in EDM-drilling of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 255, 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.12.016>
- Weiwen, X., Junqi, W., & Wansheng, Z. (2018). Break-out detection for high-speed small hole drilling EDM based on machine learning. *Procedia CIRP*, 68, 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.115>
- Ye, L., Xi, X., Bellotti, M., Qian, J., & Reynaerts, D. (2020). Investigation of advanced control schemes for high-speed small-hole EDM drilling. *Procedia CIRP*, 95, 539-544. DOI:10.1016/j.procir.2020.02.263
- Younis, M. A., Abbas, M. S., Gouda, M. A., Mahmoud, F. H., & Abd Allah, S. A. (2015). Effect of electrode material on electrical discharge machining of tool steel surface. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(3), 977-986. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.02.001>

## Öznitelik Seçici Olarak Balina Optimizasyon Algoritması Kullanarak Türkçe Metinlerde Siber Zorbalığın Tespiti

Deniz Furkan KANBAK<sup>1</sup>, Mümine KAYA KELEŞ<sup>2\*</sup>

### Öz

Dünya genelinde sosyal medya kullanımının artması ile siber zorbalığın ve doğal olarak siber zorbalığa maruz kalan kişilerin sayısı da aynı oranda artmaktadır. Mağdurların daha fazla bu duruma maruz kalmaması, aynı zamanda yeni mağduriyetlerin de oluşmaması açısından siber zorbalığın tespiti önem arz etmektedir. Literatürde siber zorbalıkla ilgili birçok çalışma bulunmakta iken, Türkçe dilindeki cümleleri analiz ederek siber zorbalığı tespit eden çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın mevcut çalışmalardan farkı, Türkçe hazırlanmış bir veri seti üzerinde hem önışlem yaparak siber zorbalığın tespitinin başarısını ölçmek hem de çok büyük dokümanlarla çalışıldığında öznitelik sayısını düşürerek başarıyı düşürmeyecek bir yöntem bulmaktır. Bu sebeple öznitelik seçici olarak henüz Türkçe Siber zorbalık veri setlerinde denenmemiş bir yöntem olan Balina Optimizasyon algoritması bu çalışmada kullanılmış olup veri setine önışlemler gerçekleştirilerek K-En Yakın Komşu (KNN), Çok Terimli Naive Bayes (MNB) ve Rastgele Orman (RF) sınıflandırıcı algoritmaları ile siber zorbalığın tespitinin başarısı ölçülmüştür. Yapılan deneylere göre, her üç sınıflandırıcı ile ham veri setine sınıflandırma işlemi gerçekleştirilirken hem önışlem yapıldığında hem de Balina Optimizasyon Algoritması ile öznitelik seçimi yapıldığında öznitelik sayısı azalmış olup doğruluk değeri büyük oranda artmıştır. Özellikle kök alma işlemi hariç diğer tüm önışlemlerin gerçekleştiği veri setinde sınıflandırıcı olarak RF Algoritması ile öznitelik seçici olarak Balina Optimizasyon Algoritması birlikte kullanıldığında doğruluk oranı %85'ten %91'e yükselmiştir. Bu da gösteriyor ki, önışlem yapma ve Balina Optimizasyon Algoritması ile öznitelik seçimi nitelik sayısını da önemli ölçüde azaltarak siber zorbalık tespitindeki başarıyı arttırmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Balina Optimizasyon Algoritması, Önışlem, Öznitelik Seçme, Siber Zorbalık, Türkçe Metin.

## Detection of Cyberbullying in Turkish Texts Using Whale Optimization Algorithm as Feature Selector

### Abstract

With the increase in the use of social media worldwide, the number of cyberbullying and naturally the number of people who are exposed to cyberbullying is increasing at the same rate. It is important to detect cyberbullying in order not to expose the victims to this situation anymore and to prevent new victimizations. While there are many studies on cyberbullying in the literature, there are not many studies that detect cyberbullying by analyzing sentences in Turkish. The difference of this study from existing studies is to both measure the success of detecting cyberbullying by preprocessing on a data set prepared in Turkish, and to find a method that will not reduce the success by reducing the number of features when working with very large documents. For this reason, Whale Optimization algorithm, which is a method that has not yet been tried in Turkish Cyberbullying datasets as feature selector, was used in this study, and the success of detecting cyberbullying was measured with the K-Nearest Neighbor (KNN), Multinomial Naive Bayes (MNB) and Random Forest (RF) classifier algorithms by performing preprocessing on the dataset. According to the experiments, the number of features decreased and the accuracy value increased significantly when both preprocessing and feature selection were made with the Whale Optimization Algorithm, while the raw data set was classified with all three classifiers. Especially in the data set where all the other preprocessing except the stemming process took place, the accuracy rate increased from 85% to 91% when the RF Algorithm as a classifier and the Whale Optimization Algorithm as a feature selector were used together. This shows that preprocessing and feature selection with Whale Optimization Algorithm significantly reduces the number of features and increases the success in cyberbullying detection.

**Keywords:** Whale Optimization Algorithm, Preprocessing, Feature Selection, Cyberbullying, Turkish Text.

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, dfkanbak@atu.edu.tr

<sup>2</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, mkaya@atu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7125-9103>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8414-1713>

## 1. Giriş

Son yıllarda insanlar arasında İnternet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte siber zorbalığın da hızla arttığı gözlenmektedir. Siber zorbalık, internet ve sosyal medya mesajı gibi birçok elektronik aracı kullanarak savunmasız kişilere karşı saldırgan bir tavırla bilerek gerçekleştirilen eylemler olarak tanımlanmaktadır (Çürük, 2018). Dijital 2021 Raporuna (URL-1, 2022) göre Dünyadaki internet kullanıcılarının sayısı dünya nüfusunun %59,5'ini oluşturmaktadır. Dünya nüfusuna oranla, tüm dünyadaki sosyal medya kullanıcılarının oranı %53,6 iken Türkiye'de bu oran %70,8'dir. Rakamlardan da görüldüğü üzere Türkiye'de aktif bir sosyal medya kullanıcısı bulunmaktadır. Bu sayı aynı zamanda mağduriyet yaşayabilecek potansiyel kişi sayısını da göstermektedir. Siber zorbalığın artarak devam etmesinden dolayı sosyal medya ortamındaki sanal zorbalığın tespiti de her geçen gün önemini arttırmaktadır. Sosyal medyadaki mesajların okunup siber zorbalıkların insan eliyle tespit edilmesi oldukça zor, hatta imkânsız olduğu için bunu gerçekleştirecek otomatik sistemlere ihtiyaç da giderek artmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, metin madenciliği yöntemlerinden olan önişleme ve öznitelik çıkarımı, veri madenciliği yöntemlerinden olan sınıflandırma ve öznitelik seçiminin siber zorbalık tespiti üzerine etkilerini araştırmaktır. Bu sebeple de henüz hiçbir Türkçe siber zorbalık veri setinde öznitelik çıkarıcı olarak denenmemiş olan Balina Optimizasyon algoritmasının kullanılması sağlanarak literatüre bir yenilik katılması hedeflenmiştir.

Son yıllarda siber zorbalığın tespiti üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça artmaktadır. Kontostathis ve ark. (2013), Dadvar ve ark. (2014), Hosseinmardi ve ark. (2015), Al-Mamun ve Akhter (2018), Altay ve Alataş (2018), Hussain ve ark. (2018), Sintaha ve Mostakim (2018), Çürük (2018)'nın çalışmalarında metin madenciliği yöntemleri kullanılarak siber zorbalık tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu ilgili referansların ortak noktası İngilizce metinler üzerinde çalışılmasıdır.

Türkçe siber zorbalık veri setleri ile çalışan literatür incelendiğinde; Özel ve ark. (2017) çalışmalarında standart ön işleme teknikleri kullanarak öznitelik çıkarımı ve seçimi işlemlerini gerçekleştirmiş, farklı makine öğrenimi algoritmaları ile Türkçe sosyal medya mesajlarında sanal zorbalığı tespit etmeye çalışmışlardır.

Bozyiğit ve ark. (2018) çalışmalarında bu çalışmada da kullanılan veri setini oluşturmuş ve internet ortamında paylaşmışlardır. Ayrıca bu veri setine klasik makine öğrenmesi yöntemlerini uygulayarak Türkçe sosyal medya metinlerinde sanal zorbalığı tespit etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, en başarılı algoritmaları Multimominal Naïve Bayes, Destek Vektör Makineleri ve  $k$ -En Yakın Komşu Algoritması olarak bulmuşlardır.

Yazgılı ve Baykara (2021) çalışmalarında, siber zorbalık ve türlerinin tespiti için makine öğrenmesi algoritmaları ve literatürde yapılan çalışmalar ile ilgili bilgiler sunmuşlardır.

Nergiz ve Avaroğlu (2021) alışmalarında, Twitter, Instagram ve Youtube sosyal ortamlarındaki Türkçe yorumlar üzerinde siber zorbalık tespiti yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre Fasttext derin öğrenme modeli ile LSTM sinir ağı kullanıldığında %93,15 başarı oranı ile siber zorbalığı tespit etmişlerdir.

Yazđılı ve Baykara (2022) bir diğer çalışmalarında Kaggle web sayfasından elde ettikleri Türkçe veri setini kullanarak doğal dil işleme yöntemlerini kullanarak siber zorbalığı tespit etmişlerdir. Çalışmada Bagging, Boosting, C4.5, Gradient Boosting, K-Means, KNN, LR, NB, ANN, RO, DVM, Stokastik Gradient Descent ve XGBoost algoritmaları karşılaştırılmış ve en iyi sonucu Lojistik Regresyon (LR) algoritması 0.8835 doğruluk oranı ile vermiştir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde bu çalışma için kullanılan materyal ve yöntemler sunulmuştur. nc Blmde ise bulgular ve tartışma bölümü yer almaktadır. Çalışma ile ilgili sonuçlar ve öneriler ise Bölüm 4'e eklenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu blmde çalışmada kullanılan veri seti, nişleme yöntemleri, sınıflandırıcılar ve öznetelik seçici anlatılmıştır.

### 2.1. Veri Seti

Çalışma kapsamında kullanılan veri seti Twitter'dan toplanmış 1503 tanesi siber zorbalık içeren (pozitif etiketli), 1498 tanesi de siber zorbalık içermeyen (negatif etiketli) 3001 adet Türkçe örneklemden oluşmaktadır. İçeriği itibariyle homojen dağılıma sahip bir metin veri setidir. İlgili veri setine Github web sitesinden (URL-2, 2022) ulaşılmıştır. Ancak literatür tarandığında bu veri setini Bozyiğit ve ark.'nın (2018) oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

### 2.2. nişleme

Verilerin kalitesi ve ondan türetilebilecek faydalı bilgiler, modelin öğrenme yeteneğini doğrudan etkilediğinden, veri ön işleme, Makine ğreniminde önemli bir adımdır. Çalışmada kullanılan veri setinde bazı ön işleme adımları uygulanmıştır. İlk olarak veri setindeki küçük/büyük harf dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra noktalama işaretleri ve nümerik karakterler kaldırılmıştır. Sonra stopwords denilen gereksiz kelimeler veri setinden çıkarılmıştır. Stopwords sözcükleri, Metin Madenciliği ve Doğal Dil İşleme'de yaygın olarak kullanılan ve çok az yararlı bilgi taşıyan sözcükleri ortadan kaldırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. nişleme aşamasının en

sonunda Turkish Stemmer (URL-3, 2022) adlı kök alma metodu ile kök alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece önişlem yöntemleri ile tüm karakterleri küçük/büyük harfe dönüştürerek; noktalama işaretleri, nümerik karakterleri ve stopwords sözcükleri kaldırarak; kelime köklerini alarak verilerin yararsız bölümlerinden veya gürültüden kurtarılması sağlanmaktadır.

Çalışmadaki veri seti “Siber zorbalık içeriyor” ve “Siber zorbalık içermiyor” şeklinde 2 sınıf olarak etiketlenmiştir. Bir kelimenin bir derlemdeki belge için ne kadar önemli olduğunu yansıtmayı amaçlayan sayısal bir istatistik olan Terim Frekansı ve Ters Terim Frekansı (TF-IDF) (Rajaraman ve Ullman, 2011) kullanılarak bir matris oluşturulmuş ve öznitelikler çıkarılarak terimlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. TF, bir belgedeki bir kelimenin terim sıklığı iken; IDF, bir dizi belgede kelimenin ters belge frekansıdır. TF-IDF (terim frekansı-ters belge frekansı) ise, bir belge koleksiyonundaki bir kelimenin bir belgeyle ne kadar alakalı olduğunu değerlendiren istatistiksel bir ölçüdür. Bu hesaplama sonucu ham haldeki veri setinden 11510 adet öznitelik çıkarılmıştır. Önişleme aşamalarının tamamı uygulandıktan sonra öznitelik sayısı 7700’e düşmüştür.

### 2.3. Kullanılan Sınıflandırıcılar

Çalışmada denetimli sınıflandırıcılardan k-En Yakın Komşu Algoritması (KNN), Multinomial Naïve Bayes Algoritması ve Rastgele Orman Algoritması kullanılmıştır.

#### 2.3.1. K-En Yakın Komşu Algoritması (K-Nearest Neighbors Algoritması - KNN)

K-En Yakın Komşu Algoritması (KNN),  $n$  boyutlu uzayda en yakın  $k$  eğitim kümesini bilinmeyen küme aralarına uygulayan ve en yakın  $k$  değerlerini mesafe ölçümleri kullanarak hesaplayan bir makine öğrenme algoritmasıdır. KNN algoritması sınıflandırma işlemi için sadece eğitim setini alır (Taunk ve ark., 2019). Başka parametreye ihtiyacı yoktur.  $K$ 'nin değerinin ne olduğu fark etmeksizin model geliştirilebilir.  $K$  değerinin belirlenmesi ile sınıflandırılacak verinin sınıfı oluşturulan modelden belirlenir. KNN algoritması sınıflandırma işlemi gerçekleştirirken öncelikle Öklid, kosinüs vb. gibi mesafe ölçme metriklerini kullanarak eğitim ve test veri setleri arasında uzaklık hesaplaması yapar. Ardından  $K$  değeri ile en yakın  $K$  tane uzaklığın sınıflarının çoğunluğuna bakarak, yeni atanacak sınıfı belirler. Metin verilerinin KNN ile sınıflandırılabilmesi için önceki bölümlerde bahsettiğimiz gibi belge TF-IDF vektörüne dönüştürülmüştür. Belgeler arasındaki uzaklığın hesaplanması için kullanılan Öklid uzaklığı formülü Denklem 1’de verilmiştir.

$$uzaklık(u_i, u_t) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{i,j} - u_{t,j})^2} \quad (1)$$

$u_i$ ,  $i$ 'nci test dökümanını ifade eder.  $u_{i,j}$ ,  $i$ 'nci test dökümanındaki  $k$  kelimesini ifade eder.  $u_{t,j}$ ,  $j$ 'nci eğitim dökümanını ifade eder.  $u_t$  ise eğitim dökümanını ifade eder. Son olarak  $N$ , vektörün uzunluğudur.

### 2.3.2. Multinomial Naïve Bayes Algoritması (Çok Terimli Naïve Bayes – MNB Algoritması)

Naïve Bayes algoritması (Ren ve ark., 2009) sağlık, mühendislik ve işletme gibi birçok alanda literatürde uygulanmış ve verimli sonuçlar vermiş, olasılık tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarından biridir. Veri setindeki her özniteliğin birbirinden bağımsız olduğunu varsayarak, her birinin hangi sınıfa ait olduğunu gösterme olasılığını hesaplar ve temel olarak Bayes teoremine dayanır. Bu çalışmada Naïve Bayes algoritmasının metin sınıflandırmasında sıklıkla tercih edilen Multinomial Naïve Bayes (MNB) sınıflandırıcısını kullanıyoruz. MNB,  $c \in C$  şekilde  $c$  kategorisine ait verilen her belge (veya metin ya da cümle) için bir olasılık hesaplar. MNB modelinin kullandığı öznitelikler, belgede bulunan kelimelerin sıklığıdır. Kelimelerin sırası ve konumu dikkate alınmaz. Dokümandaki kelimelerin sıklığına göre bir olasılık hesabı yapılır ve  $P(c|d_i)$  olasılığı en yüksek olan sınıfa atanır. MNB'nin formülü Denklem 2'de verilmiştir.

$$P(c|d_i) = \frac{P(c) P(d_i|c)}{P(d_i)}, \quad (2)$$

$P(c|d_i)$ ,  $d_i$  dokümanının  $c$  sınıfına ait olma olasılığını ifade eder.  $P(c)$  ise Denklem 3'teki gibi formüle edilebilir.

$$P(c) = \frac{c \text{ kategorisine ait dökümanların sayısı}}{\text{toplam döküman sayısı}}, \quad (3)$$

$P(d_i|c)$ ,  $d_i$  dokümanının  $c$  sınıfında bulunma olasılığını ifade eder. Formülü Denklem 4'te verilmiştir.

$$P(d_i|c) = \left( \sum_n \text{sayaç}_{ni} \right) \prod_n \frac{P(w_n|c)^{\text{sayaç}_{ni}}}{\text{sayaç}_{ni}!} \quad (4)$$

$\text{sayaç}_{ni}$  ise  $n$  kelimesinin  $d_i$  dokümanı içerisindeki frekansını ifade eder.



### 2.3.3. Rastgele Karar Ormanları Algoritması (Random Forest Algoritması – RF)

Breiman ve ark.'nın (2001) çalışmalarına göre rastgele karar ormanları olarak da bilinen rastgele orman algoritması, sınıflandırma ve regresyon sorunlarını çözmek için kullanılan bir topluluk öğrenme tekniğidir. Karar ormanı topluluğu, çok sayıda üretilen çok sayıda sınıflandırma ve regresyon karar ağaçlarından oluşur. Rastgele Orman, sınıflandırma ve regresyon ağacının (CART) her bir düğümünde rastgele alt öznitelik uzayı üreterek, rastgele alt uzay yöntemlerini (RSM) torbalama metodu ile birleştirir (Qiu ve ark., 2017). Rastgele alt uzay yöntemi orijinal girdi uzayının rastgele seçilmiş alt uzayları üzerinde öğrenen makinelerin eğitildiği birleşik bir stratejidir. Sonuçlar, medyan değerlerine veya oy çoğunluğuna göre birleştirilir. Karar ağacının her bir düğümünde, toplam  $n$  adet girdi özniteliğinden  $m$  adet özellik rastgele seçilir. Üstün doğruluğu ve aykırı değerlere ve kirli veriye karşı iyi olmasının yanı sıra, rastgele orman algoritmasının en kullanışlı özelliklerinden biri çok sayıda dahili teşhis göstergesini hesaplama kapasitesidir. Tahmin işlemi, orman oluşturma kararı aşamasında toplanan veriler kullanılarak gerçekleştirilir (Karasu ve ark., 2019). Rastgele orman metodolojisinin rastgele örnekleme ve topluluk yöntemlerinde bulunan prosedürlerin gelişmiş yönlerini entegre etmesi nedeniyle, daha geniş genellemeler ve daha güvenilir tahminler sağlar.

### 2.4. Öznitelik Seçimi

Öznitelik seçimi, model yapımında kullanılacak en tutarlı ve ilgili özellikleri ayırma işlemidir. Öznitelik seçme teknikleri, gereksiz veya alakasız özellikleri ortadan kaldırarak ve öznitelik kümesini en alakalı olanlara makine öğrenimi modeliyle daraltarak girdi değişkenlerinin sayısını azaltmak için kullanılmaktadır. Öznitelik seçim algoritmaları, etiketli veriler için kullanılabilen denetimli veya etiketlenmemiş veriler için kullanılabilen denetimsiz olarak kategorize edilebilmektedir. Denetimsiz teknikler, filtre yöntemleri, sarma yöntemleri, gömülü yöntemler veya hibrit yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır.

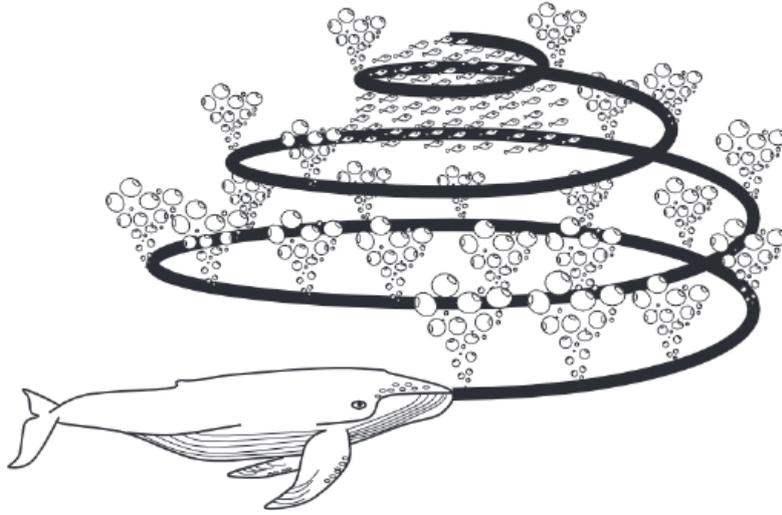
Ortalama veri kümesinin boyutu ve karmaşıklığı katlanarak artmaya devam ettikçe, öznitelik seçimi giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu sebeple bu çalışmada öznitelik sayısını azaltırken başarıyı da düşürmeyecek bir yöntem bulunması amaçlanmıştır. Son dönemlerde doğadan esinlemeli algoritmaların öznitelik seçici olarak kullanıldığı ve başarılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada henüz hiçbir Türkçe siber zorbalık veri setinde öznitelik seçici olarak kullanılmamış bir doğadan esinlemeli algoritma olan Balina Optimizasyon Algoritması tercih edilmiştir.

### 2.4.1. Öznitelik Seçici Olarak Balina Optimizasyon Algoritması

Balinalar dünya üzerindeki en büyük memeliler olarak bilinirler. Yetişkin bir balina 180 ton ağırlığına ve 30 metre uzunluğa ulaşabilir. Dişilerinin boyutu erkeklerinin boyutundan çoğu zaman daha büyüktür ve bu özelliğe sahip nadir memelilerdendir. Genel olarak balina olarak adlandırılırsalar da kendi içerilerinde farklı türlere ayrılırlar. Balinalar çoğu zaman yırtıcı olarak bilinirler. Okyanusların yüzeyinde nefes almak zorunda oldukları için balinalar hiçbir zaman tam olarak uyumazlar. İhtiyaç olduğu durumlarda beyinlerinin sadece yarısı uyur. Balinalar, duyguları olan, oldukça akıllı canlılardır.

Hof ve ark. (2007), balinaların beyinlerinin belli bölgelerinde insanlarınkine benzer bazı hücreler bulunduğunu ve bu hücrelere iş hücre dendiğini ortaya koymuştur. Bu hücreler insanlarda karar vermeden, duygulardan ve sosyal davranışlardan sorumludur. Bu nedenle, iş hücrelerimiz bizi diğer canlılardan ayıran farklardan biridir. Balinalarda ise iş hücre sayısı, insanlarda bulunanın iki katı kadardır ve akıllı olmalarının ana kaynağı da budur. Balinaların (özellikle katil balinaların) kendi aralarında iletişim kurabilecekleri bir diyalekt geliştirdikleri de gözlemlenmiştir.

Balinaların sosyal davranışları ilgi çekicidir. Çoğu zaman sürü şeklinde yaşasalar da tek olarak da yaşayabilirler. En büyük balina türlerinden biri kambur balinalardır (*Megaptera novaeangliae*). Kambur balinalar çoğunlukla krillerle ve sürü halindeki küçük balıklarla beslenirler. Kambur balinaların en ilginç özelliğe ise gösterdikleri avlanma davranışlarıdır. Kambur balinaların avladığı sürüler genellikle yüzeye yakın yerlerde bulunurlar. Kambur balinalar ise yüzeye çok uzak olmayan bölgelerden soluk vererek kabarcıklar meydana getirirler. Dairesel şekilde hareket ederek ve soluk vermeye düzenli periyodlarla devam ederek yüzeye yakın yerlerdeki balık sürülerini çıkardıkları baloncuk ağına sıkıştırırlar. Dairesel hareketlerinin çapını yavaşça azaltarak yüzeye doğru hareket ederler. Avlarını sıkıştırmak için yaptıkları harekete kabarcık ağı (bubble-net) denir. Şekil 1 kabarcık ağı hareketini temsil eden bir görseldir. Mirjalili ve ark. (2016) kabarcık ağı hareketini matematiksel olarak modellemişlerdir ve optimizasyon algoritması olarak farklı mühendislik problemlerinde kullanmışlardır. Balina Optimizasyon Algoritması modellenirken 3 parçaya ayrılmıştır; avın etrafını sarma, ava doğru hareket etme ve av arama.



Şekil 1. Kabarcık ağı hareketi (Mirjalili ve ark., 2016).

#### 2.4.1.1 Avın Etrafını Sarma

Optimizasyon algoritmalarının genelinde ulaşılmaması gereken nokta optimum çözüm olarak değerlendirilir. Her zaman ulaşılmaması gereken noktaya ulaşılamasa da, bu noktanın yakınındaki bir nokta optimum çözüm olarak kabul edilebilir. Her bir iterasyonda en iyi konumdaki çözüm belirlendikten sonra bir sonraki iterasyon bu çözümün etrafında oluşur. Balina Optimizasyon Algoritmasında ise ulaşılmaması gereken nokta avdır. Her iterasyonda av en çok yaklaşan çözüm için diğer çözümlerin konumlarında güncelleme yapılır. Denklem 1 ve Denklem 2’de avın etrafını sarma davranışının matematiksel modeli gösterilmiştir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (1)$$

$$\vec{X}(t+1) = |\vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D}| \quad (2)$$

$t$ , o anda bulunan iterasyonu,  $A$  ve  $C$  katsayı vektörlerini,  $X^*$  en iyi çözüm vektörünü ifade etmektedir.

#### 2.4.1.2 Ava Doğru Hareket Etme

Ava doğru hareket etme davranışı baloncuk çıkartma eyleminden sonraki kısmı kapsar. Bu harekette balinaların oluşturduğu çemberi daraltması ve spiral olarak hareket etmesini ifade eder. Çemberi daraltma davranışı Denklem 3 ve 4’te modellenmiştir. Spiral hareket ise Denklem 5’te

belirtildiği şekilde modellenmiştir. Çemberi daraltma davranışı Denklem 3'teki  $a$ 'nın değerini azaltarak meydana gelir.

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (4)$$

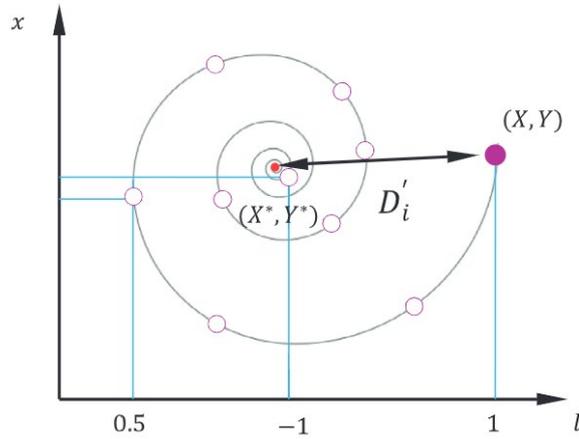
Şekil 2'de spiral hareket ve en iyi çözümün konumu gösterilmiştir. Spiral hareket davranışı için hedef konum ve çözüm adayı arasındaki mesafe hesaplanarak Denklem 5 oluşturulmuştur.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (5)$$

$$\vec{D}' = \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)$$

Denklem 5'teki  $b$  değeri logaritmik spiral sabitini,  $l$  değeri ise  $[-1,1]$  aralığındaki rastgele bir sayıyı ifade etmektedir. Balina Optimizasyon Algoritması spiral hareket ile doğrusal hareketin hangisinin yapılacağını %50 olasılıkla belirler. Denklem 6'da bu seçim modellenmiştir. Denklem 6'daki  $p$  değeri  $[0,1]$  aralığında rastgele bir sayıdır.

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D}, & p < 0,5 \\ \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t), & p \geq 0,5 \end{cases} \quad (6)$$



Şekil 2. Spiral Hareket (Mirjalili ve ark., 2016).

### 2.4.1.3 Av Arama

Kambur balinalar sürüsündeki diğer balinalara bakarak rastgele bir arama hareketi içerisinde olabilirler. Global çözüm için, çözüm adaylarının yeni konumları belirlenirken bazı durumlarda bilinen en iyi nokta yerine, rastgele belirlenen bir çözüm adayı seçilir. Bu çözüm adayının etrafında ise oluşturulacak diğer çözüm adayları oluşur. Bu yüzden  $A$  vektörünün 1'den büyük ya da -1'den küçük olacağı değerler kullanılır. Bu durumlarda çözüm adayı referans adaydan uzaklaşır. Bu davranışın modellenmesi Denklem 7 ve 8'de verilmiştir. Denklemlerdeki  $X_{rand}$  vektörü, rastgele seçilen bir çözüm vektörünü ifade eder.

$$\vec{D}' = \vec{C} \cdot \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{X} \quad (7)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{A} \cdot \vec{D}' \quad (8)$$

Denklem 8'deki  $A$  vektörünün değeri aramaların hangi ölçekte yapılacağına karar verilmesinde kullanılır.  $A$  değerinin -1'den küçük ya da 1'den büyük olduğu durumlar global arama olarak kabul edilir ve bahsedilen denklemler kullanılır. Diğer durumlarda ise yerel arama yapılır.

### 2.5. Değerlendirme Kriteri

Önişlem öncesi ve sonrası olmak üzere hazırlanan veri setlerinin başarısını hesaplamak için bir değerlendirme kriterine ihtiyaç bulunmaktadır. Hem uygulanan sınıflandırıcıların performansını hem de öznelik seçici olarak uygulanan Balina Optimizasyon Algoritmasının başarısını ölçmek amacıyla bu çalışmada değerlendirme yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan Doğruluk (Accuracy) kriteri hesaplamalarda tercih edilmiştir. Bir sınıflandırıcının doğruluğu, toplam örnek sayısına bölünen toplam doğru tahminlerin yüzdesi olarak verilmektedir. Tanımı verilen Doğruluk değerlendirme kriterinin formülü Denklem 9'da verilmektedir. Formülde bahsi geçen terimlerin ikili sınıflandırıcı için örnek bir karışıklık matrisindeki (Stehman, 1997) durumları ise Şekil 3'te verilmektedir.

$$Doğruluk = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (9)$$

	Tahmini Değer: POZİTİF	Tahmini Değer: NEGATİF
Gerçek Değer: POZİTİF	TP (Gerçek Pozitifler)	FN (Yanlış Negatifler)
Gerçek Değer: NEGATİF	FP (Yanlış Pozitifler)	TN (Gerçek Negatifler)

**Şekil 3.** İkili Sınıflandırıcı İçin Örnek Karışıklık Matrisi.

Doğruluk değeri tüm doğru cevapların (TP ve TN), tüm cevaplara (TP, TN, FP, FN) olan oranıdır. Matematiksel olarak, sınıflandırıcının doğruluğu kabul edilebilir olarak düşünülürse, sınıf etiketinin bilinmediği gelecekteki veri gruplarını sınıflandırmak için sınıflandırıcı kullanılabilir. Veri seti dengeli dağılıma sahip olduğu zaman daha başarılı sonuç üretmektedir, bu yüzden daha çok dengeli veri setleri kullanılacağı zaman tercih edilmektedir. Bu çalışmada da tercih edilme sebebi kullanılan veri setinin homojen yapıya sahip olması yani sınıflar arasındaki dağılımın yakın olmasıdır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada siber zorbalığı tespit etmek için 3001 adet Türkçe siber zorbalık metni içeren veri seti üzerinde çeşitli ön işleme işlemleri sonrası KNN, Rastgeler Orman ve Çok Terimli Naive Bayes algoritmaları gibi farklı sınıflandırıcılar yardımıyla doğadan esinlemeli bir optimizasyon algoritması olan Balina Optimizasyon Algoritması öznitelik seçici olarak uygulanmıştır. KNN algoritmasının  $k$  değeri literatürdeki diğer çalışmaları da göz önünde bulundurarak 5 olarak seçilmiştir (Prabhakar ve ark., 2019). Veri seti %70 eğitim, %30 test olarak ayrılmıştır. Değerlendirme kriteri olarak Doğruluk değeri kullanılmış olup ön işlem yöntemlerine göre alınan sonuçlar Tablo 1, 2 ve 3'de gösterilmektedir. Doğruluk değerleri virgülden sonra 2 basamak olacak şekilde yuvarlanmıştır.

**Tablo 1.** Raw Haldeki Veri Setinden Alınan Sonuçlar.

Kullanılan Algoritma	Öznitelik Seçimi İşlemi Öncesi		Öznitelik Seçimi İşlemi Sonrası	
	Öznitelik Sayısı	Doğruluk Değeri	Öznitelik Sayısı	Doğruluk Değeri
MNB	11510	%86	11255	%88
KNN	11510	%74	9829	%72
RF	11510	%85	11011	%86

Tablo 1'den de görüldüğü üzere raw yani hiçbir işlem yapılmamış saf haldeki veri setine herhangi bir öznitelik seçimi uygulanmadığında en başarılı algoritma MNB olurken, öznitelik seçimi sonrası öznitelik sayısı düşerken başarı oranı 0.88'e yükselmektedir. En düşük öznitelik sayısını ise KNN algoritması verirken en kötü sonucu da yine KNN algoritmasının verdiği görülmektedir. Bu da

öznitelik sayısının çok fazla düşmesinin iyi bir sonuç üreteceği anlamına gelmediğini kanıtlamaktadır.

**Tablo 2.** Tüm önışlemlerin Uygulandığı Haldeki Veri Setinden Alınan Sonuçlar.

Kullanılan Algoritma	Öznitelik Seçimi İşlemi Öncesi		Öznitelik Seçimi İşlemi Sonrası	
	Öznitelik Sayısı	Doğruluk Değeri	Öznitelik Sayısı	Doğruluk Değeri
MNB	7700	%86	7680	%86
KNN	7700	%73	7660	%75
RF	7700	%86	7691	%86

Tablo 2’den görüldüğü üzere ise tüm önışlemlerin uygulandığı haldeki veri setine herhangi bir öznitelik seçimi uygulanmadığında en başarılı algoritmalar MNB ve RF olurken, öznitelik seçimi sonrası öznitelik sayısı düşerken başarı oranı 0.86’da kalmıştır. En düşük öznitelik sayısını ise ham haldeki veri setinde olduğu gibi KNN algoritması verirken en kötü sonucu da yine KNN algoritmasının verdiği görülmektedir. Bu da öznitelik sayısının çok fazla düşmesinin iyi bir sonuç üreteceği anlamına gelmediğini bir kez daha kanıtlarken aynı zamanda önışlemlerin hepsinin birden uygulanmasının da başarıyı yükseltmediğini göstermektedir.

**Tablo 3.** Kök Alma Hariç Tüm Önışlemlerin Uygulandığı Haldeki Veri Setinden Alınan Sonuçlar.

Kullanılan Algoritma	Öznitelik Seçimi İşlemi Öncesi		Öznitelik Seçimi İşlemi Sonrası	
	Öznitelik Sayısı	Doğruluk Değeri	Öznitelik Sayısı	Doğruluk Değeri
MNB	11459	%87	11161	%87
KNN	11459	%77	11415	%77
RF	11459	%87	10934	%91

Son olarak Tablo 3’ten görüldüğü üzere ise kök alma hariç tüm önışlemlerin uygulandığı haldeki veri setine herhangi bir öznitelik seçimi uygulanmadığında en başarılı algoritmalar yine MNB ve RF olurken, öznitelik seçimi sonrası öznitelik sayısı düşerken başarı oranı da RF algoritması ile sınıflandırma gerçekleştiğinde 0.91’e çıkmaktadır. En düşük öznitelik sayısını ise bu sefer RF algoritmasının verdiği görülmektedir. Bu da öznitelik sayısının hem düştüğü hem de doğruluk başarısının yükseldiği tek algoritmanın RF olduğunu göstermektedir. Kök alma hariç diğer önışlemlerin uygulanmasının da başarıyı yükselttiği gözükmemektedir. Buna Türkçe’nin gramer yapısı gereği sondan eklemeli bir dil olması sebep olmaktadır. Hali hazırda çok etkin çalışan bir kök alma aracı olmadığı için başarı oranının düştüğü literatürdeki birçok çalışmada da görülmektedir (Yazgılı ve Baykara, 2022). Bu doğrultuda, MNB ve RF sınıflandırıcılarının tahmin etme başarısı açısından, Balina Optimizasyon algoritmasının da ilgili öznitelikleri seçme açısından Türkçe metinlerdeki siber zorbalık tespiti için en uygun yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve neriler

Bu alışmada Türkçe hazır bir veri seti kullanılarak siber zorbalık tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacını veri ön işlemlerinin siber zorbalığa etkisi ve öznitelik seçimi yöntemi ile boyut azaltıldığında başarının azalmaması oluşturmaktadır. Bu sebeple Türkçe siber zorbalık metinsel verilerde ilk defa bu çalışmada kullanılan Balina Optimizasyon Algoritması ile öznitelik seçimi işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri seti üzerinde doğal dil işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen veri ön işlemlerinden sonra veri seti üzerinde çalıştırılan sınıflandırma algoritmalarının performansları incelendiğinde %91 doğruluk oranı ile RF sınıflandırma algoritmasının en yüksek başarı oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalara göre en az öznitelik genellikle KNN sınıflandırıcı kullanıldığında oluşurken, en düşük doğruluk başarısı da yine KNN sınıflandırıcı çalıştırıldığında elde edilmektedir. nişlemin hem öznitelik sayısı açısından hem de doğruluk değerlendirme kriteri açısından önemli olduğu Bulgular Bölümünde verilen üç tablodan da izlenmektedir. Bu tablolara göre kök alma işleminin Türkçe dilinin yapısından dolayı başarıyı düşürdüğü gözlenmiştir. En iyi sonucu kök alma işlemi olmadan diğer tüm önişlemler uygulandığında RF sınıflandırıcısının verdiği gözlenmiştir. Balina Optimizasyon Algoritmasının znitelik seçici olarak kullanıldığı durumlarda ise doğruluk başarısını arttırdığı, RF sınıflandırıcısı kullanılarak doğruluk oranı hesaplandığında ham veri setindeki %85 olan başarıyı özellikle yine kök alma işlemi olmadan diğer tüm önişlemler uygulandığında %87'den %91'e yükselttiği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada literatürdeki Türkçe siber zorbalık veri setinin yetersizliği görülmüş ve gelecek çalışmalarda bir veri seti oluşturulması planlanmıştır. Ayrıca kök almanın performans üzerindeki etkisinin de artacağı yöntemler araştırılacaktır. Böylece siber zorbalık tespitinde önişlem aşamalarının performansı ve başarıyı arttıracaağı düşünülmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.



## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Al-Mamun, A., ve Akhter, S. (2018, Aralık). Social Media Bullying Detection Using Machine Learning On Bangla Text. *10<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Computer Engineering* (pp. 20-22). Dhaka, Bangladesh.
- Altay, E. V., ve Alataş, B. (2018, Aralık). Detection of Cyberbullying in Social Networks Using Machine Learning Methods. *International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism*, Ankara, Turkey.
- Bozyiğit, A., Utku, S., ve Nasiboğlu, E. (2018). Sanal zorbalık içeren sosyal medya mesajlarının tespiti. *In 3rd International Conference on Computer Sciences and Engineering UBMK*. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Canayaz, M., ve Demir, M. (2017, Eylül). Feature selection with the whale optimization algorithm and artificial neural network. *In 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (s. 1-5). Malatya, Türkiye: İnönü Üniversitesi.
- Çürük, E. (2018). *Sosyal Ağlardaki Siber Zorbalığın Yapay Zeka Algoritmaları İle Tespiti Ve Sınıflandırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Dadvar, M., Trieschnigg, D., ve de Jong, F. (2014). Experts and Machines against Bullies: A Hybrid Approach to Detect Cyberbullies. *In: Advances in Artificial Intelligence* (pp. 275–281). Canada.
- Hof, P. R., ve Van der Gucht, E. (2007). Structure of the cerebral cortex of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae* (Cetacea, Mysticeti, Balaenopteridae). *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 290(1), 1-31.
- Hosseinmardi, H., Mattson, S. A., Ibn Rafiq, R., Han, R., Lv, Q., ve Mishra, S. (2015). Detection of cyberbullying incidents on the Instagram social network. *arXiv: 1503.03909v1 [cs.SI]*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1503.03909>.
- Hussain, M. G., Mahmud, T. A., ve Akhtar, W. (2018). An Approach to Detect Abusive Bangla Text. *2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET)* (pp. 27-29). Dhaka, Bangladesh.
- Karasu, S., ve Altan, A. (2019, Kasım). Recognition model for solar radiation time series based on random forest with feature selection approach. *2019 11<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*. Bursa, Türkiye.
- Kontostathis, A., Reynolds, K., Garron, A., ve Edwards, L. (2013). Detecting cyberbullying: Query terms and techniques. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual ACM Web Science Conference* (pp.195–204). New York, NY, USA.
- Mirjalili, S., ve Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95, 51-67.
- Özel, S. A., Saraç, E., Akdemir, S., ve Aksu, H. (2017). Detection of cyberbullying on social media messages in Turkish. *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 366–370). Antalya, Turkey.
- Prabhakar, E., Santhosh, M., Krishnan, A. H., Kumar, T., ve Sudhakar, R. (2019). Sentiment analysis of US airline twitter data using new adaboost approach. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(1), 1-6.
- Qiu, X., Zhang, L., Nagaratnam Suganthan, P., ve Amaratunga, G. A. (2017). Oblique random forest ensemble via least Square estimation for time series forecasting. *Information Sciences*, 420, 249-262.
- Ren, J., Lee, S. D., Chen, X., Kao, B., Cheng, R., ve Cheung, D. (2009). Naive Bayes classification of uncertain data. *2009 Ninth IEEE International Conference on Data Mining*. Miami, Florida.
- Sintaha, M., ve Mostakim, M. (2018, Aralık). An Empirical Study and Analysis of the Machine Learning Algorithms Used in Detecting Cyberbullying in Social Media. *21<sup>st</sup> International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT)*. Dhaka, Bangladesh: United International University.

- Stehman, Stephen V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 62(1), 77–89.
- Taunk, K., De, S., Verma, S., ve Swetapadma, A. (2019). A brief review of nearest neighbor algorithm for learning and classification. *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*. Secunderabad , India.
- URL-1: <https://recrodigital.com/dijital-2021-raporunda-turkiye-ve-dunyada-internet-ve-sosyal-medya-kullanimi-karsilastirmasi-ocak-2021/>, (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2022).
- URL-2: <https://github.com/gulsan-celep/Siber-Zorbalik-ile-Model-Egitimi>, (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2022).
- URL-3: <https://github.com/otuncelli/turkish-stemmer-python>, (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2022).
- Yazğılı, E., ve Baykara, M. (2022). Türkçe metinlerde makine öğrenmesi yöntemleri ile siber zorbalık tespiti. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 443-453.

## **New approaches in choosing a suitable growth model: Mean Curvature and Arc Length Values**

Volkan ODA<sup>1</sup>, Mehmet KORKMAZ<sup>2</sup>, Halil ŞENOL<sup>3\*</sup>

### **Abstract**

Logistic, Gompertz and Bertalanffy sigmoid growth models are widely used to study the growth dynamics of populations such as living plants, animals and bacteria. Appropriate model selection and parameter estimation are very important as these models will be used to make practical inferences. Because different growth models are modeled biologically, regardless of whether the parameters are definable or not. Applications that do not take into account parameter identifiability can lead to unreliable parameter estimates and misleading interpretations. Therefore, first the most suitable model should be determined and then the parameters should be defined. In this study, two new suitable model determination criteria such as mean curvature and arc length are proposed. For this, firstly, the definition of curvature was given. Then, the mean curvature and arc length values of the data belonging to two different species (kangal dog growth and eucalyptus plant growth) were calculated. For this purpose, a comparison was made with model selection criteria available in the literature such as coefficient of determination, error sum of squares and Akaike information criterion (AIC). It has been determined that the results obtained from the mean curvature and arc length values are in accordance with the existing criteria. In the two datasets, it was seen that the fit model ranking for both the existing criteria and the criteria we proposed was the same. For this reason, it is thought that the mean curvature and arc length values can be accepted as suitable model selection criteria.

**Keywords:** Mean curvature values; arc length values; model selection criteria; Akaike information criterion; growth model

## **En uygun model seçimi için yeni yaklaşımlar: Ortalama Eğrilik ve Yay Uzunluğu Değerleri**

### **Öz**

Lojistik, Gompertz ve Bertalanffy sigmoid büyüme modelleri, canlı bitki, hayvan ve bakteri gibi popülasyonların büyüme dinamiklerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modeller pratik çıkarımlar yapmak için kullanılacağından, uygun model seçimi ve parametre tahmini çok önemlidir. Çünkü farklı büyüme modelleri, parametrelerin tanımlanabilir olup olmadığı dikkate alınmadan biyolojik olarak modellenmiştir. Parametre tanımlanabilirliğini dikkate almayan uygulamalar, güvenilir olmayan parametre tahminlerine ve yanıltıcı yorumlara yol açabilir. Bu yüzden, öncelikle en uygun model belirlenmeli ve sonrasında parametreler tanımlanmalıdır. Bu çalışmada ortalama eğrilik ve yay uzunluğu gibi iki yeni uygun model belirleme kriteri önerilmiştir. Bunun için öncelikle eğrilik tanımı verildi. Daha sonra iki farklı canlı türüne ait verilerin ortalama eğrilik ve yay uzunluğu değerleri hesaplandı. Bu amaçla belirleme katsayısı, hata kareler toplamı ve Akaike bilgi kriteri (AIC) gibi literatürde mevcut olan model seçim kriterleri ile karşılaştırma yapıldı. Ortalama eğrilik ve yay uzunluğu değerlerinden elde edilen sonuçların mevcut kriterlere uygun olduğu tespit edilmiştir. İki veri setinde, hem mevcut kriterler, hem de önerdiğimiz kriterler için uygun model sıralamasının aynı olduğu görüldü. Bu nedenle ortalama eğrilik ve yay uzunluğu değerlerinin uygun model seçim kriterleri olarak kabul edilebileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ortalama eğrilik değerleri; yay uzunluğu değerleri; model seçim kriteri; Akaike bilgi kriteri; büyüme modeli

<sup>1</sup>Giresun University, Finance Program, Tirebolu Mehmet Bayrak Vocational School of Higher Education, Giresun, TURKEY, volkanoda@hotmail.com

<sup>2</sup>Ordu University, Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Ordu, TURKEY, mkorkmaz52@yahoo.com

<sup>3</sup>Giresun University, Energy Systems Engineering, Faculty of Engineering, Giresun, TURKEY, halilsenol@yahoo.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5724-7678>,

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7488-0552>,

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-3056-5013>

## 1. Introduction

In general terms, the curvature of a function is expressed as the rate of rotation of that curve. Since the tangent line shows the direction of the curve, we can say that the curvature is the rotational speed of the tangent line or velocity vector. Two revisions are necessary to this definition. First, the rate of rotation of a tangent line of a curve depends on the velocity of the tangent line along the curve. The second is; Curvature is a geometric property and should not change with movement. Therefore, curvature was defined as the absolute value of the rotational speed of the tangent line moving along the curve at one unit per second (Nutbourne et al., 1972).

If  $\phi$  is the angle between the tangent line and the x-axis, then the curvature  $K$  is defined by

$$K = \left| \frac{d\phi}{ds} \right| \quad (1)$$

where  $s$  is arc length. By using the chain rule,

$$\frac{d\phi}{ds} \frac{ds}{dx} = \frac{d\phi}{dx} \quad (2)$$

and putting

$$v = \frac{ds}{dx} \quad (3)$$

we get

$$\left| \frac{d\phi}{ds} \right| = \frac{\left| \frac{d\phi}{dx} \right|}{v} \quad (4)$$

Thus for getting the curvature, it suffices to find  $\frac{d\phi}{dx}$  and  $v$ .

Clearly  $s = \int v \, dx$ . If the formula for arc length is remembered, we can find

$$v = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (5)$$

The intuitive significance of  $v$  is that it is the speed at which a point travels along the curve when its x-coordinate increases at a rate of one unit/second. So the formula  $s = \int v \, dx$  says that the speed is integrated to compute the distance.

Since  $\phi$  is the angle between the direction in which the point on the curve is moving and the direction of the x-axis (i. e. horizontal), it can be seen that  $v = \sec \phi$ .

Since  $(\tan\phi = \frac{dy}{dx})$  is the slope of the curve, we get

$$v^2 = \sec^2 \phi = 1 + \tan^2 \phi = 1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2, \quad (6)$$

which is the required formula for  $v$  anticipated above. (Note that by the definition  $\phi$  is an acute angle, so  $\sec \phi \geq 0$ )

The formula for the curvature of the graph of a function in the plane is now easy to obtain. Since  $\phi$  is the angle of the tangent line, it is known that  $\tan \phi$  is the slope of the curve at a given point, i. e.

$$\tan \phi(x) = \frac{dy}{dx} \quad (7)$$

By differentiating with respect to  $x$  the following equation yields:

$$\sec^2 \phi \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2}, \quad (8)$$

and so we get:

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{y''}{\sec^2 \phi} = \frac{y''}{v^2} = \frac{y''}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}, \quad (9)$$

and then

$$K = \left| \frac{d\phi}{ds} \right| = \frac{|y''|}{v^2} \frac{1}{v} = \frac{|y''|}{v^3} = \frac{|y''|}{[1 + (y')^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{Curvature, E. L. Lady}). \quad (10)$$

In order to test the suitability of the proposed model in this study, the weights of the Kangal Dogs for the first eight weeks were examined. Weight gain is low in the early stages of growth. Then it gradually rises, reaches its highest level and decreases as the adult age approaches. The fastest growth in animals is at the young age, and the growth rate decreases as they approach physical maturity. Therefore, the growth curve first rises steeply, then gradually flattens and finally stops. Therefore, the weights of dogs (Kangal Dogs) in the growth phase are similar to sigmoidal curves (Çoban et al., 2011). In one study, a linear model was used to determine the growth and some body size characteristics of Kangal Dogs. In another study, the variation of body weights and heights of dogs of different sizes over time was investigated using a logistic model (Posada et al., 2014). In another study, growth differences and relationships between healthy dogs and diseased dogs were modeled (Salt et al., 2020). When the current literature is examined, the growth curves are examined by classical methods (gompertz, logistics, bertalanffy and etc.) (Senol et al., 2020). In the mentioned studies, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and/or AIC, Bayesian information criterion were used as the performance criteria of the models. Different types of modeling, such as sigmoidal growth curves, have been used quite frequently in previous studies in the literature (Kara and Şenol 2022; Bianco et al., 2022, Şenol et al., 2022, Kara, 2019). However, in no previous study, the mean curves and arc lengths of the models were used as model performance criteria.

Accordingly, our hypothesis in the study is that it can be selected as the most suitable model with the lowest mean curvature and arc length values.

In this study firstly; the existence of the curvature formula was explained. Then some applications were made with numerical data. Time dependent curvature values were calculated. Therefore, total curvature and mean curvature values are calculated by taking the absolute values. In this study Gompertz (Winsor, 1932), Logistic (Ricker, 1979) and Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957) growth models were used for comparing the results.

## 2. Material and Methods

Two different data sets were used in this study. The first one is the weight of eight weeks for female and male Kangal dogs. The second one is the length of the eucalyptus plant. Calculations were made with the MAPLE package program. The values are given in tables and then interpreted. In this study, the data from the male and female Kangal dogs were used for the growth model in Table 1. The data set was taken from the study of Çoban et al. (2011).

**Table 1.** Observed live weights(kg) of the Kangal dogs according to the gender

Weeks	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Male</b>	0.803	1.269	2.145	3.046	3.700	4.408	5.285	5.962
<b>Female</b>	0.813	1.275	2.275	2.933	3.600	4.308	5.092	5.975

In this study, the data taken from the tree, *E. Camaldulensis* Dehn. were used for the growth model in Table 2. The data set was taken from the study of Yıldızbakan (2005).

**Table 2.** The height growth value of the trees (*E. Camaldulensis* Dehn) according to year

Planting Age (year)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Height Growth (m)</b>	0.41	3.23	7.45	11.41	14.83	18.11	18.95	19.69	21.50	23.40

To determine a compatible model, the following statistical indicators were determined and compared: the coefficient of determination ( $R^2$ ), error sum of squares (SSE) (Draper and Smith, 2014), the second-order AIC test (Akaike, 1974).

$$SSE = \sum_{k=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (11)$$

$$AIC = \begin{cases} N \ln \left( \frac{RSS}{N} \right) + 2K, & \text{when } \frac{N}{K} \geq 40 \\ N \ln \left( \frac{RSS}{N} \right) + 2K + \frac{2K(K+1)}{N-K-1}, & \text{when } \frac{N}{K} < 40 \end{cases} \quad (12)$$

where,  $y_i$  : measured values,  $\hat{y}_i$  : estimated values,  $N$  : number of data point,  $K$ : number of model parameters.

### 3. Results and Discussion

In this study, in order to test the performance of the newly proposed model selection criteria, the growth amounts of the eucalyptus plant were analyzed in addition to the 8-week growth of male and female kangal dogs. By using the Tables 1 and 2 of these two sets of data, firstly, the parameters of Gompertz, Logistic and Bertalanffy growth models are calculated in Table 3 and Table 6, respectively and then the values of time dependent curvature were calculated in Table 4 and Table 7, respectively.

For two data sets, the values of the total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares (SSE), coefficient of determination ( $R^2$ ) and AIC are calculated in Table 5 and Table 8 respectively. To make a comparison; error sum of squares, coefficient of determination and AIC (Akaike, 1970; Ucal, 2006) are used as known model selection criteria. All calculation results made are shown in the tables. Tables 3,4 and 5 were calculated according to the values in Table 1. In addition, Table 3 is taken from Oda's master thesis (Oda, 2017).

**Table 3.** Model parameters calculated according to the gender

	Models	Equations	a	b	c
<b>Male</b>	Gompertz	$y=ae^{-e^{(b-ct)}}$	8.659	1.098	0.257
	Logistic	$y=\frac{a}{1+e^{(b-ct)}}$	7.008	2.326	0.495
	Bertalanffy	$y =a[1 - be^{-ct}]^3$	10.279	0.681	0.175
<b>Female</b>	Gompertz	$y=ae^{-e^{(b-ct)}}$	9.700	1.104	0.224
	Logistic	$y=\frac{a}{1+e^{(b-ct)}}$	7.373	2.343	0.460
	Bertalanffy	$y =a[1 - be^{-ct}]^3$	12.296	0.684	0.143

Growth curves of live weights of male and female Kangal dogs by the models used are given in Figure 1 and 2.

The curvature values calculated according to live weights are given in Table 4. In both genders, it is seen that Bertalanffy model has the lowest curvature values (**bold font**) compared to the other models used in this study.

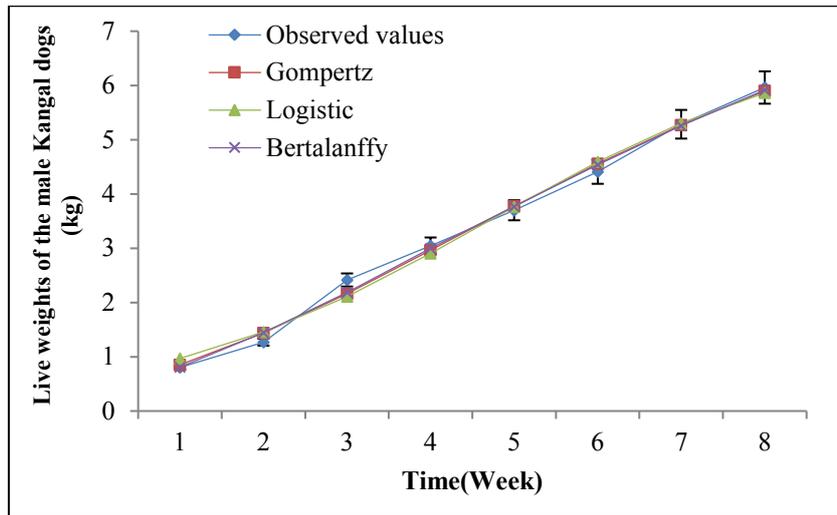


Figure 1. Growth curves of male Kangal dogs by the models used

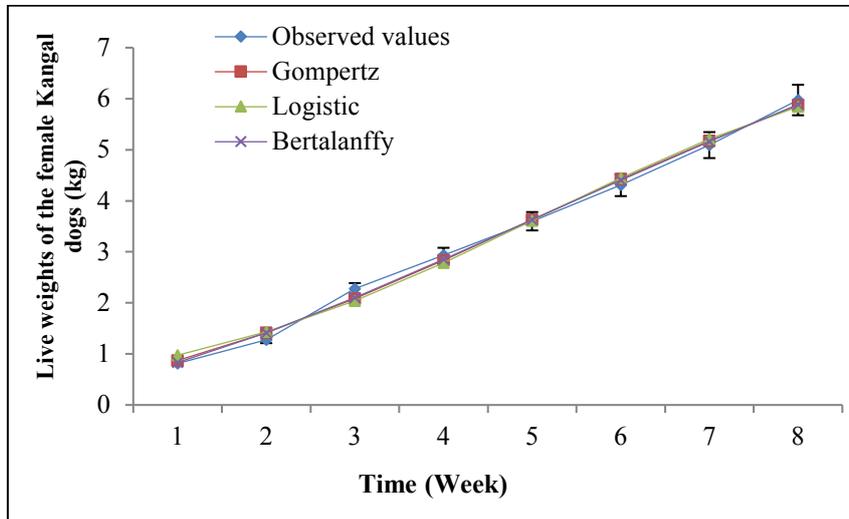


Figure 2. Growth curves of female Kangal dogs by the models used

Table 4. Weekly calculated curvature values of the models according to the gender

Weeks	Gompertz		Logistic		Bertalanffy	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1	0.122	0.110	0.117	0.107	<b>0.109</b>	<b>0.099</b>
2	0.078	0.047	0.076	0.079	<b>0.023</b>	<b>0.033</b>
3	0.038	0.047	0.076	0.079	<b>0.023</b>	<b>0.033</b>
4	0.007	0.020	0.032	0.043	<b>0.001</b>	<b>0.014</b>
5	0.017	0.001	0.014	0.004	<b>0.014</b>	<b>0.000</b>
6	0.035	0.018	0.059	0.036	<b>0.025</b>	<b>0.010</b>
7	0.050	0.032	0.097	0.073	<b>0.034</b>	<b>0.018</b>
8	0.060	0.043	0.117	0.100	<b>0.040</b>	<b>0.024</b>



By using the first data set, the values of the total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares, coefficient of determination and AIC of the models according to genders are shown in Table 5.

**Table 5.** The values of total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares, coefficient of determination and AIC of the models according to the gender

Models	Gompertz		Logistic		Bertalanffy	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Total Curvature Values	0.407	0.350	0.620	0.545	<b>0.303</b>	<b>0.259</b>
Mean Curvature Values	0.051	0.044	0.078	0.068	<b>0.038</b>	<b>0.032</b>
Arc Length Values	8.644	8.616	8.578	8.560	<b>8.248</b>	<b>8.234</b>
Error Sum of Squares	0.135	0.101	0.224	0.181	<b>0.110</b>	<b>0.080</b>
Coefficient of Determination	0.994	0.996	0.990	0.992	<b>0.995</b>	<b>0.997</b>
AIC	-11.322	-13.643	-7.271	-8.976	<b>-12.960</b>	<b>-15.508</b>

It can be seen that for the values of the total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares and AIC, Bertalanffy model has the lowest values (**bold font**) and also for the values of coefficient of determination, Bertalanffy model has the highest values (**bold font**). For that reason, we can say that for the data from Table 1 according to the criteria above, the best appropriate model is Bertalanffy model compared to the other models used in this study.

Table 2 shows the growth values of the eucalyptus plant as a whole. The model parameters calculated according to these values are given in Table 6.

**Table 6.** Model parameters calculated

Models	Equations	a	b	c
Gompertz	$y=ae^{-e^{(b-ct)}}$	23.071	1.137	0.488
Logistic	$y=\frac{a}{1+e^{(b-ct)}}$	21.887	2.369	0.781
Bertalanffy	$y=a[1 - be^{-ct}]^3$	23.897	0.711	0.392

The time dependent curvature values of the models are shown in Table 7.

**Table 7.** Yearly curvature values calculated

Year	Gompertz	Logistic	Bertalanffy
0	0.254	0.186	0.348
1	0.038	0.070	0.022
2	0.005	0.020	0.000
3	0.008	0.000	0.011
4	0.023	0.018	0.024
5	0.051	0.065	0.045
6	0.098	0.177	0.077
7	0.152	0.275	0.114
8	0.176	0.216	0.139
9	0.154	0.117	0.140

Tables 6,7, 8 are calculated according to the values in Table 2. The curvature values calculated according to height lengths are given in Table 7. For the second data set, the values of total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares,  $R^2$  and AIC of the models used in this study are shown in Table 8.

**Table 8.** The values of total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares, coefficient of determination and AIC of the models

<b>Models</b>	<b>Gompertz</b>	<b>Logistic</b>	<b>Bertalanffy</b>
Total Curvature Values	0.959	1.144	<b>0.920</b>
Mean Curvature Values	0.096	0.114	<b>0.092</b>
Arc Length Values	23.610	22.710	<b>21.835</b>
Error Sum of Squares	3.919	8.713	<b>2.876</b>
Coefficient of Determination	0.993	0.984	<b>0.995</b>
AIC	6.633	14.622	<b>3.538</b>

Bertalanffy model was the lowest values of total curvature, mean curvature, arc lengths, error sum of squares and AIC. It was seen that Bertalanffy model had the lowest values (bold font) for total curvature, mean curvature, arc length, error sum of squares and AIC values. In addition, when the  $R^2$  values of the model evaluation criteria are examined, it is seen that the most suitable model is Bertalanffy. For that reason, we can say that for the data from Table 2 according to the criteria above, the best appropriate model is Bertalanffy model compared to the other models used in this study. There are limited applications of the modified Bertalanffy model, which is an alternative sigmoidal model, in the literature. Şenol et al.(2020), modeled the bacterial growth curve with Logistics and Bertalanffy equations in a study he conducted, and mostly the  $R^2$  values of Bertalanffy model were higher than the Logistic model. Therefore, despite limited applications, Bertalanffy model can be used as an alternative and can perform better than the more commonly used Logistic and Gompertz models, as in this study (Oda et al., 2016; Şenol et al., 2020).

There are some studies on curvature and arc length values in the literature (Nutbourne et al., 1972; Castro et al., 2016). Of course, the known model selected criteria such as error sum of squares, coefficient of determination and AIC are used in the literature but in this study the proposed model selected criteria total curvature, mean curvature and arc length are also used with some known selected criteria. It is observed that the proposed model selected criteria compliances with the known selected criteria in this study.

The researchers argue that the use of curvature and arc length in finding the best model fit does indeed add a very interesting idea to the world of the researches related to growth. As known that, correlation is a statistical method used to determine whether there is a relationship among numerical measurements and the direction and severity of this relationship if the relationship is

present. There are two different tests to determine the type of distribution. One of them is "Kolmogorov-Smirnov" and the other is "Shapiro-Wilk" (Khatun, 2021). The "Shapiro-Wilk" test is more preferred and more used (Hernandez, 2021). In this study "Shapiro-Wilk" test was applied and since "Sig." values are greater than 0.05, it can be said that be a normal distribution of the data.

After estimating the growth of Kangal dogs by gender with sigmoidal models, the statistical difference between the mean values of the predicted values was evaluated with the one-sample T test. First of all, the significance level of the data was determined as 95% (Sig.=0.05), and its conformity to the normal distribution was tested. Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk test results are given in Table 9.

**Table 9.** Test of normality between models by gender

	Models	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
<b>Male</b>	Gompertz	0.122	8	0.200	0.961	8	<b>0.820</b>
	Logistic	0.134	8	0.200	0.950	8	<b>0.712</b>
	Bertalanffy	0.117	8	0.200	0.966	8	<b>0.861</b>
<b>Female</b>	Gompertz	0.124	8	0.,200	0.963	8	<b>0.835</b>
	Logistic	0.134	8	0.200	0.953	8	<b>0.745</b>
	Bertalanffy	0.119	8	0.200	0.,966	8	<b>0.869</b>

Since the significance levels obtained in the normality tests are more than 0.05, the growth values are in accordance with the normal distribution. A one-sample T test can be applied. The results obtained by determining the significance level as 95% (Sig.=0.05) for the one-sample T test are shown in Table 10.

**Table 10:** One-Sample T test results

	Models	Test Value=0					
		Statistic	Df	Sig.	Mean Difference	95% Confidence interval of the difference	
						Lower	Upper
<b>Male</b>	Gompertz	5.082	7	0.001	3.330	1.781	4.879
	Logistic	5,131	7	0.001	3.336	1,799	4.873
	Bertalanffy	5.070	7	0.001	3.328	1.776	4.881
	Gompertz	5.167	7	0.001	3.288	1.783	4.792

<b>Female</b>	Logistic	5.219	7	0.001	3.293	1.801	4.786
	Bertalanffy	5.152	7	0.001	3.286	1.778	4.794

---

According to the significance results in Table 10, the difference between the mean values of the prediction values is statistically significant.

As a result, it is shown that the appropriate model for both genders of data is the Bertalanffy model according to known the model selection criteria. The same results were obtained according to the mean curvature and arc length values. In this study, it is seen that the model with the lower mean curvature and arc length values is suitable model. According to this, it can be judged that total curvature, mean curvature and arc length values can be used as the appropriate model selection criterion.

#### 4. Conclusion

In this study, three different sigmoidal growth models, which are frequently found in scientific studies, have been used. These models have been applied to two different data sets. It has been determined which model is suitable according to the known model selection criteria. Then the mean curvature and arc lengths were calculated. The results were compared to known model selection criteria. It is shown that the results are compatible with each other.

The proposed new model selection criteria total curvature, mean curvature, arc length can be used by applying to animal and plant growth data. It is also recommended to be used in studies in the fields of economics, health, medicine and engineering. Since mean curvature and arc length have not been used as model selection criteria before, we consider them to be a very interesting addition to the literature in their own right.

#### Acknowledgment

The authors would like to thank Çoban et al. and Yıldızbakan for allowing the use of the data. Also, the authors declare that no conflict exists among the authors.

#### Authors' Contributions

Volkan Oda: Experimental study, data analysis and writing.

Mehmet Korkmaz: Experimental study and data analysis.

Halil Şenol: Literature research and writing.

### Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

The study is in accordance with research and publication ethics.

### References

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Akaike, H. (1970). Statistical predictor identification. *Ann. Inst. Statist. Math*, 22, 203-217.
- Bertalanffy, Von L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *Quart. Rev. Biol.*, 32(3), 217-231.
- Bianco, F., Şenol, H., Papirio, S., Zenk, H., Kara, A., and Atasoy, S. (2022). Combined ultrasonic–hydrothermal pretreatment to improve the biomethane potential of hazelnut shell. *Biomass and Bioenergy*, 165, 106554.
- Castro, I., and Castro-Infantes, I. (2016). Plane curves with curvature depending on distance to a line. *Differential Geometry and its Applications*, 44, 77-97.
- Çoban, Ö., Yıldız, A., Sabuncuoğlu, N., Laçın, E., and Yıldırım, F., 2011. Use of non-linear growth curves to describe the body weight changes in Kangal puppies. *J.Vet.Sci., University of Atatürk, Turkey*, 6(1), 17-22.
- Draper, N. R., and Smith, H. (2014). *Applied regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Hernandez, H. (2021). Testing for normality: what is the best method. *ForsChem Research Reports*, 6, 2021-05.
- Kara, A., Şenol, H.(2022) Endüstriyel Anaerobik Reaktörler İçin Enerji Dönüşümünün Hızlandırılmasına Yönelik Bir Çalışma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17(2), 349-358.
- Kara, A. (2019). Determination of nuclear excitation functions of zirconium using certain level density parameters for neutron-induced reactions. *Indian Journal of Physics*, 93(11), 1485-1488.
- Khatun, N. (2021). Applications of normality test in statistical analysis. *Open Journal of Statistics*, 11(01), 113.
- Lady, E. L. Curvature [PDF document]. Retrieved from Online Web site: <http://www.math.hawaii.edu/~lee/calculus/curvature.pdf>.
- Nutbourne, A. W., McLellan, P. M., and Kensit, R. M. L. (1972). Curvature profiles for plane curves. *Computer-aided design*, 4(4), 176-184.
- Oda, V., Korkmaz, M., and Özkurt, E. (2016). Some sigmoidal model used in estimating growth curve and biological parameters obtained: bertalanffy pattern sample. *Ordu University Journal of Science Technology*, 6(1), 54-66. (in Turkish, with abstract in English).
- Oda, V. (2017). *Conversion of some sigmoidal growth models into biologically meaningful mechanical models*, MSc Thesis, Ordu University, Institute of science and technology, Ordu.
- Posada O, S., Gomez O, L., and Rosero N. R. (2014). Application of the logistic model to describe the growth curve in dogs of different breeds. *Revista MVZ Córdoba*, 19(1), 4015-4022.
- Ricker, W.E. (1979). Growth rates and models. *Fish Physiol*, 8, 677-743.
- Salt, C., Morris, P. J., Butterwick, R. F., Lund, E. M., Cole, T. J., and German, A. J. (2020). Comparison of growth patterns in healthy dogs and dogs in abnormal body condition using growth standards. *PloS*

one, 15(9), e0238521.

Şenol, H., Açıkkel, Ü., Demir, S., and Oda, V. (2020). Anaerobic digestion of cattle manure, corn silage and sugar beet pulp mixtures after thermal pretreatment and kinetic modeling study. *Fuel*, 263, 116651.

Şenol, H., Kara, A., Atasoy, S., and Erşan, M. (2022) Anaerobik Sindirimde Nanopartikül Konsantrasyonunun Cevap Yüzey Yöntemi İle Optimizasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17(1), 211-221.

Ucal, M.Ş. (2006). A brief survey of econometrics model selection criteria. *J. Econom. and Adm. Sci., University of Cumhuriyet, Turkey*, 7(2), 41-57 (in Turkish, with abstract in English).

Winsor, C.P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 18(1), 1-8.

Yıldızbakan, A. (2005). *Analysis on mathematical models of tree growth and comparison of these models*, MSc Thesis, Cukurova University, Institute of science and technology, Adana.

## **Investigation of Cholinesterase Inhibitor Effects of Some Chalcone Substituted Metallophthalocyanines**

Aşkın TEKİN<sup>1</sup>, Tayfun ARSLAN<sup>2\*</sup>

### **Abstract**

In this work, previously synthesized tetra-chalcone-substituted metallophthalocyanines (MPcs) containing Ni(II), Zn(II), Co(II), and Cu(II) in the inner core were investigated anticholinergic activities against Alzheimer's disease (AD). The MPcs were evaluated for their inhibition of acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) using the original Ellman's colorimetric procedure. Against these two cholinesterase enzymes, all compounds showed inhibitory effects with IC<sub>50</sub> values ranging from 1.243-2.369 µM against AChE and 2.865-3.372 µM against BChE. Among the four MPcs, CuPcs (2) showed the strongest inhibitory activity against AChE. ZnPcs (3) also showed the most effective inhibition for BChE.

**Keywords:** Cholinesterases, Chalcone, Phthalocyanine, Inhibitor.

## **Bazı Kalkon Süstitüe Metalofталosiyeninlerin Kolinesteraz İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi**

### **Öz**

Bu çalışmada, merkezde Ni(II), Zn(II), Co(II) ve Cu(II) içeren daha önce sentezlenmiş tetra-kalkon süstitüe metalofталosiyeninlerin (MPcs) Alzheimer (AD) hastalığına karşı antikolinerjik aktiviteleri incelenmiştir. MPcs'ler, orijinal Ellman'ın kolorimetrik prosedürü kullanılarak asetilkolinesteraz (AChE) ve butirikolinesteraz (BChE) inhibisyonları açısından değerlendirildi. Bu iki kolinesteraz enzimine karşı tüm bileşikler, AChE'ye karşı 1.243-2.369 µM ve BChE'ye karşı 2.865-3.372 µM arasında değişen IC<sub>50</sub> değerleri ile inhibitör etkiler göstermiştir. Dört MPcs arasında CuPc (2), AChE'ye karşı en güçlü inhibitör aktiviteyi göstermiştir. Ayrıca, ZnPcs (3), BChE için en etkili inhibisyonu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kolinesterazlar, Kalkon, Fталosiyenin, İnhibitör.

<sup>1</sup>Giresun University, Şebinkarahisar Social Sciences Vocational School, Department of Medical Services and Techniques, Şebinkarahisar, Giresun, Turkey, askin.tekin@giresun.edu.tr

<sup>2</sup>Giresun University, Department of Chemistry, Giresun, Turkey, tayfun.arslan@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0362-9387>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1426-5857>

## 1. Introduction

Alzheimer's disease (AD) is a progressive neurodegenerative disease that usually occurs in older age and results in impaired memory, language, and motor skills due to thinning of brain tissue. In this disease, behavior and thinking skills are impaired and gradually regress over the course of the disease phases. AD has three stages. Early, intermediate and advanced stages. Because symptoms are so mild in the early stages, the disease can be easily overlooked or confused with other conditions, such as depression. Although patients at this stage experience memory problems, they can perform routine tasks independently. Symptoms such as simple forgetfulness, the concept of time, difficulty remembering history, and regression in language skills are observed. In the middle stage, symptoms become more pronounced and the diagnosis is usually made at this stage. Cognitive impairments originating in the brain region responsible for speech and language become more frequent; patients have difficulty repeating learned meaningful movements. In the advanced stage, the third stage, patients develop urinary incontinence, motor disorders, postural impairments, and difficulty walking. During this period, patients become almost completely dependent on nursing care (Breijyeh and Karaman, 2020). Despite numerous scientific efforts, a definitive treatment method that eliminates Alzheimer's or halts its progression has not yet been found (Erdoğan et al., 2021). In addition, there are some drug and non-drug methods to slow the onset and progression of the disease.

As the cause of AD is still unknown, there is no precise cure for its. However, common factors such as such as cholinergic hypothesis agglomeration of  $\beta$ -amyloid ( $A\beta$ ) peptides,  $\tau$ -protein aggregation and oxidative stress have been found to trigger the disease. Inhibition of AChE and BuChE enzymes that hydrolyze acetylcholine (ACh) and butyrylcholine (BCh) neurotransmitters have become a treatment option for AD (Lima et al., 2020; Shaikha et al., 2020; Kazancıoğlu et al., 2020). AD is directly related to the decrease in the level of the cationic neurotransmitter Acetylcholine (ACh). During the progression of AD, many dissimilar types of neurons decay, although there is a significant loss of fore brain cholinergic neurons, which is attented by a decrease in acetylcholine. One of the most studied proteins as a target for AD therapy is the cholinesterases (Panek et al., 2018).

The chalcone fragments are widely available in both natural and synthetic product. They are significant intermediates in organic synthesis. (Tosun et al., 2015). Studies have shown that chalcones possess important pharmacological characteristics including antitumor, anti-inflammatory, antifungal and antioxidant properties. (Fu et al., 2016). Both metall-free and metallophthalocyanines (Pcs), which have very good thermal and chemical stability are important class of tetrapyrrole compounds. Due to they have a much conjugated  $\pi$ -electron system, commonly



have been used in dissimilar areas of technology and medicine. (Rey et al., 2018; Medina, et al., 2019).

Both chalcones and phthalocyanine analogs have become the focus of interest in recent years with their medicinal applications. They show widespread biological activity such as antibacterial,  $\alpha$ -glucosidase, antioxidant, carbonic anhydrase (CA I, II, IX), inhibition of cholinesterase (AChE / BChE) (Çakır and Arslan, 2022; Barut et al., 2020). They have also become attractive in medicine to develop compounds with high potential to cure diseases. In our recent studies, we reported that compounds with a similar structure are also active against some esterase enzymes (for both hCAs and AChE). (Arslan 2021; Arslan et al., 2020). In literature, Keleş et al. synthesized water soluble phthalocyanines containing ({6-[3-(diethylamino)phenoxy]hexyl}oxy groups and tested their inhibitory effects on cholinesterases. They found that these phthalocyanines indicated significantly inhibitory actions effects than galantamine which was used as a positive control (Keleş et al., 2022). Recently, Öztürmen et al., reported in vitro  $\alpha$ -glucosidase, cholinesterases (AChE / BChE) and tyrosinase inhibitory effects of 3,3-diphenyl-propoxy substituted silicon and Cu / Mn phthalocyanines.(Öztürmen et al., 2022)

Considering the literature information and as a continuation of our research for new anti-Alzheimer targets, we aimed to investigate already synthesized phthalocyanines with chalcone moiety. We first resynthesized the chalcone compound, the phthalonitrile compound and its peripherally tetra-substituted metallophthalocyanine (2-5) in light of the literature (Çakır, 2020). The inhibitory effects of (2-5) were investigated for the first time using The original Ellman's colorimetric procedure against cholinesterase enzymes (AChE and BChE) to determine the therapeutic potential.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Chemical Synthesis**

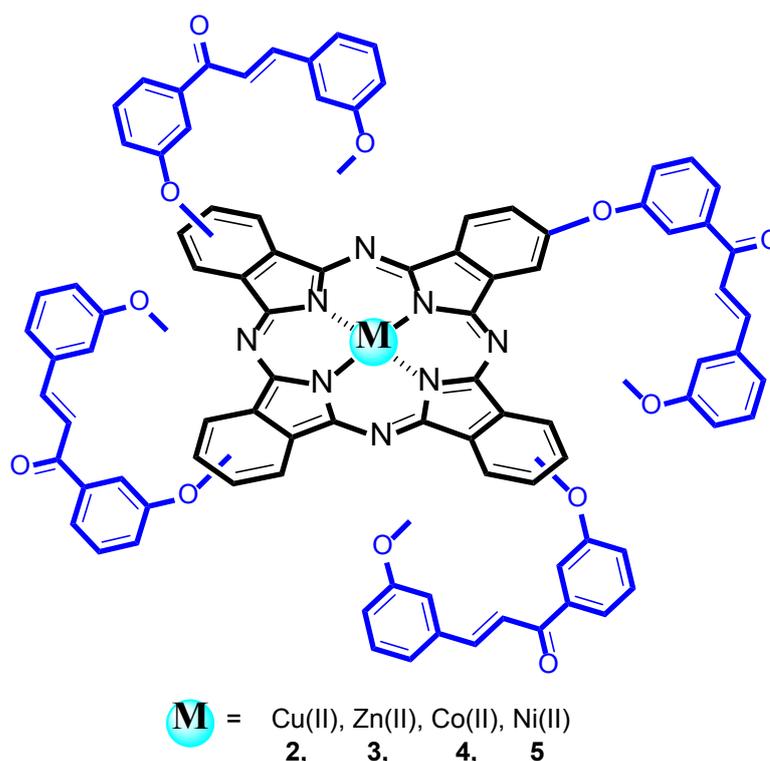
Tetra-chalcone-substituted metallophthalocyanines were resynthesized according to the previous study in the literature (Çakır, 2020). All spectral data of the newly synthesized phthalocyanines are consistent with the literature. All chemicals were purchased from commercial suppliers and used without further purification.

## 2.2. Biochemical studies

The inhibitory effect of the synthesized compounds on acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) enzymes was determined by the modified spectrophotometric method of Ellman (Ellman et al., 1961). Rivastigmine was used as a reference substance for the assay. First, the compounds were dissolved in DMSO at a concentration of 1 mg/ml and then diluted to different concentrations with deionized water. Six serial dilutions of the inhibitors were measured to determine the cholinesterase inhibitory activity. For the cholinesterase inhibition experiments, 60  $\mu$ L of buffer (0.1 M, pH 8.0; Tris-HCl buffer for the AChE assay and 0.1 M, pH 7.8; phosphate buffer for the BChE assay), 30  $\mu$ L 2 mM DTNB, 1  $\mu$ L enzyme (0.28 units/mL for the AChE assay and 0.32 units/mL for the BChE assay) and 5-30  $\mu$ L inhibitor sample were added to a 96-well microplate. The reaction mixtures were incubated for 10 minutes at room temperature. Then, 30  $\mu$ L of 2 mM (AChI/BChI) was added to initiate the enzyme reaction, and the reaction mixtures were incubated at room temperature for 10 minutes. Absorbance was measured three times within 5 min at 412 nm using a 96-well microplate reader (AccuReader M965, Metertech) and results are reported as mean  $\pm$  standard deviation.  $IC_{50}$  values were determined using GraphPad Prism 5 software by running an inhibitor curve against the normalization of the response (variable slope).  $IC_{50}$  is the concentration at which a substance exerts half of its maximum inhibitory effect (Almaz et al., 2021).

## 3. Findings and Discussion

Previous studies by our group investigated the inhibitory effects of metal-free and metallo-phthalocyanines with different substituents against cholinesterases (Arslan et al., 2020). In these studies on molecules, it was found that they showed very good inhibitory effects on cholinergic enzymes. Therefore, it was decided to study the phthalocyanines (2-5) to determine new inhibitors against these enzymes in molecules with similar structures. We also report here the first study of the inhibitory effect of these phthalocyanines (Figure 1) on cholinergic enzymes (AChE and BChE). The  $IC_{50}$  values of the molecules are listed in Table 1.



**Figure 1.** The tetra-chalcone substituted Cu(II), Zn(II), Co(II), Ni(II) phthalocyanines.

According to the cholinergic hypothesis in the etiology of AD, it has been found that increasing acetylcholine levels in patients relatively slows down symptoms. Scientific studies have shown that cholinesterase inhibitors have been successfully used in the treatment of neurodegenerative diseases such as AD. Among them, the most commonly used drugs are cholinesterase inhibitors such as rivastigmine, donepezil, and galantamine (Srivastava et al., 2021). In addition, there are studies in the literature using substituted phthalocyanine and chalcone analogs as inhibitors against AD. In a work by Arslan et al. the inhibitory activities of tetra-chalcone substituted metal-free and metallo-phthalocyanines on the enzyme AChE were investigated, which are associated with AD. In a recent work, three new silicon phthalocyanine derivatives were shown to be potent AChE and BChE inhibitors (Çakır and Arslan, 2022).

**Table 1.** IC<sub>50</sub> values for AChE and BChE (μM) \*

Inhibitor	AChE	BChE
2	1.243 ± 0.11	2.936 ± 0.07
3	1.466 ± 0.09	2.865 ± 0.08
4	1.592 ± 0.08	3.372 ± 0.13
5	2.369 ± 0.15	3.307 ± 0.12
Rivastigmine **	3.01	0.3

\*Mean from at least three determinations.

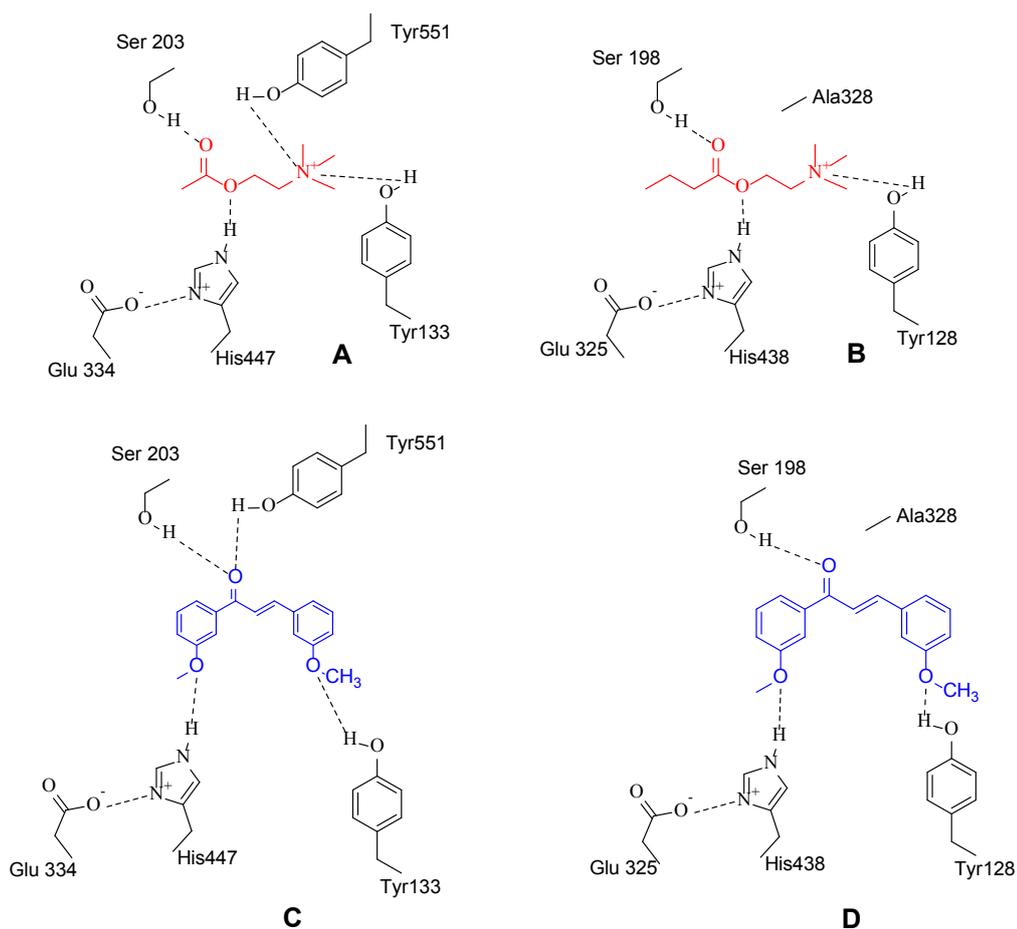
\*\*Rivastigmine were used as a control for AChE and BChE (Ozten et al., 2021).

(i) The  $IC_{50}$  values of the inhibitors ranged from 1.243 to 2.369  $\mu\text{M}$  in inhibition studies of the AChE enzyme. The strongest inhibition was observed with tetra-chalcone substituted copper(II)-phthalocyanine (2) ( $IC_{50} = 1.243 \mu\text{M}$ ) compared to the others. It was found that NiPc (5) showed the least inhibitory effect with an  $IC_{50}$  value of 2.369  $\mu\text{M}$ . According to these results, all Pcs showed good  $IC_{50}$  values compared with rivastigmine ( $IC_{50} = 3.01 \mu\text{M}$ ). The  $IC_{50}$  values of their continued the order  $2 > 3 > 4 > 5$  for AChE.

(ii) In the studies performed on BChE,  $IC_{50}$  values ranged from 2.865 to 3.372  $\mu\text{M}$ . Among these phthalocyanines, Cu and Zn phthalocyanines ( $IC_{50} = 2.936 \mu\text{M}$  and 2.865  $\mu\text{M}$ , respectively) showed moderate inhibition compared with the reference drug rivastigmine ( $IC_{50}$  BChE = 0.3  $\mu\text{M}$ ), a commercially available cholinesterase inhibitor. Ni and Co phthalocyanines ( $IC_{50} = 3.307 \mu\text{M}$  for NiPcs and 3.372  $\mu\text{M}$  for CoPcs) also showed a low effect.

Considering the data obtained from our previous studies, the change of metals in the center of phthalocyanines has a great influence on their inhibitory ability. All phthalocyanines (2-5) showed different inhibitory effects on cholinesterase enzymes. When the  $IC_{50}$  values for AChE and BChE were examined, 4 and 5, which contained nickel and cobalt in the core, showed the least inhibitory effect. An improvement in the inhibition effect of 2 and 3 containing copper(II) and zinc(II) in their core, respectively, was also observed. As described in the literature, our results in this study also showed that the presence of different metals in the core of the phthalocyanine molecule can affect their inhibitory activity. This could be due to different interactions with enzymes as a result of the change in electron density of phthalocyanines (Yalazan et al., 2020; Tian et al., 2009; Arslan et al., 2020).

The active site of AChE consists of two binding subunits. The first is CAS, the catalytic active site, and the other is PAS (peripheral anionic site) (Kazancıoğlu and Sentürk, 2020; Rosenberry et al., 2017). The mechanisms theoretically proposed in previous studies are shown in Figure 2. It can be easily predicted that the oxygen atoms of the carbonyl and methoxy groups in the chalcone structure interact with the AChE active sites, as is the case with classical cholinesterase inhibitors.



**Figure 2.** A and B: The binding interactions of acetylcholine and butyrylcholine with CAS (for the hAChE and hBChE ), C and D: The estimated binding model of CuPcs (2) for both AChE and BChE, respectively.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In summary, inhibition of AChE and BChE by phthalocyanines peripherally substituted with tetrachalcone (2-5) was reported for the first time. The copper (II) (2) and zinc (II) (3) phthalocyanines were each good inhibitors of cholinesterase enzymes. These results indicated that methoxylated chalcone phthalocyanines could form the basis for the development of new anticholinesterase inhibitors.

#### Acknowledgements

This study was supported by the Research Fund of Giresun University.

## Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Arslan T., Ceylan M. B., Baş H., Biyiklioglu Z. and Senturk M. (2020). Design, synthesis, characterization of peripherally tetra-pyridine-triazole-substituted phthalocyanines and their inhibitory effects on cholinesterases (AChE/BChE) and carbonic anhydrases (hCA I, II and IX), *Dalton Transaction*, 49, 203-209.
- Arslan T. (2021). Design, synthesis of novel peripherally tetra-chalcone substituted phthalocyanines and their inhibitory effects on acetylcholinesterase and carbonic anhydrases (hCA I and II), *Journal of Organometallic Chemistry*, 951, 122021.
- Almaz, Z., Oztekin, A., Tan, A., & Ozdemir, H. (2021). Biological evaluation and molecular docking studies of 4-aminobenzohydrazide derivatives as cholinesterase inhibitors, *Journal of Molecular Structure*, 1244, 130918.
- Barut B., Keleş T., Biyiklioglu Z. and Yalçın C. Ö. (2020). Peripheral or nonperipheral tetra-[4-(9H-carbazol-9-yl) phenoxy] substituted cobalt(II), manganese(III) phthalocyanines: Synthesis, acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effects and anticancer activities, *Applied Organometallic Chemistry*, 35, e6021.
- Breijyeh Z and Karaman R. (2020). Comprehensive Review on Alzheimer's Disease: Causes and Treatment, *Molecules*, 25, 5789.
- Çakır V. (2020), Functional chalcone-substituted tetrakis -metallophthalocyanines: Synthesis and spectroscopic characterization, *Journal of Chemical Research*, 44, 148–151.
- Çakır V. and Arslan T, (2022). Synthesis and biological evaluation of new silicon(IV) phthalocyanines as carbonic anhydrase and cholinesterase inhibitors, *Inorganica Chimica Acta*, 530, 120678.
- Ellman GL, Courtney KD, Andres V Jr, Featherstone RM. (1961) A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol*, 7, 88- 95.
- Erdogan M., Kilic B., Sagkan R. I., Aksakal F., Ercetin T., Gulcan H. O, and Dogruer D.S. (2021). Design, synthesis and biological evaluation of new benzoxazolone/benzothiazolone derivatives as multi-target agents against Alzheimer's disease, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 212, 113124.
- Fu, D-J., Zhang, S-Y., Liu, Y-C., Zhang, L., Liu, J-J., Song, J., Zhao, R-H., Li, F., Sun, H-H., Liu, H-M., and Zhang, Y-B. 2016. Design, synthesis and antiproliferative activity studies of novel dithiocarbamate-chalcone derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 26, 3918.
- Kazancıoğlu E. And Senturk M. (2020). Synthesis of N-phenylsulfonamide derivatives and investigation of some esterase enzymes inhibiting properties, *Bioorganic Chemistry*, 104, 104279.
- Keleş T., Biyiklioğlu Z., Akkaya D., Özel A and Barut B. (2022) Synthesis and in vitro  $\alpha$ -glucosidase and cholinesterases inhibitory actions of watersoluble metallophthalocyanines bearing ({6-[3-(diethylamino)phenoxy]hexyl}oxy groups. *Turkish Journal of Chemistry*, 46, 786.

- Lima., J.A., Costa., T.W.R., Fonseca., A.C.C., Amaral., R.F., Nascimento., M.D.S.B., O. Santos-Filho., O.A., Miranda., A.L., Neto., D.C.F., Lima., F.R.S., Hamerski., L., and Tinoco., L.W., (2020). Geissoschizoline, a promising alkaloid for Alzheimer's disease: Inhibition of human cholinesterases, anti-inflammatory effects and molecular docking. *Bioorganic Chemistry* 104, 104215.
- Medina W.S.G., dos Santos N.A.G., Curti C., Tedesco A.C., and dos Santos A.C. (2009) Effects of zinc phthalocyanine tetrasulfonate-based photodynamic therapy on rat brain isolated mitochondria, *Chemico-Biological Interactions* 79, 402.
- Ozten O., Kurt B. Z., Sonmez F, Dogan B, and Durdagi S. (2021). Synthesis, molecular docking and molecular dynamics studies of novel tacrine-carbamate derivatives as potent cholinesterase inhibitors, *Bioorganic Chemistry*, 115, 105225.
- Öztürmen B.A., Barut B. and Bıyıklıoğlu Z. (2022). Synthesis, characterization, and  $\alpha$ -glucosidase, cholinesterases, and tyrosinase inhibitory effects of axialsubstituted silicon and peripheral tetra-substituted copper(II), manganese (III) phthalocyanines. *Applied Organometallic Chemistry*, 36, e6781.
- Panek, D., Wiğckowska, A., Jonczyk, J., Godyn, J., Bajda, M., Wichur, T., Pasiğka, A., Knez, D., Pislak, A., Korabecny, J., Soukup, O., Sepsova, V., Sabate, R., Kos, J., Gobec, S. and Malawska, B. (2018) *ACS Chemical Neuroscience* 9, 1074.
- Rey B., Keller U., Torres T., Rojo G., Lopez F.A., Nonell S., Martí C., Brasselet S., Ledoux I., and Zyss J. (1998) Synthesis and nonlinear optical, photophysical, and electrochemical properties of subphthalocyanines, *Journal of the American Chemical Society*, 120, 12808.
- Rosenberry T. L., Brazzolotto X., Macdonald I. R., Wandhammer M., Trovaslet-Leroy M., Darvesh S, and Nachon F. (2017) Comparison of the Binding of Reversible Inhibitors to Human Butyrylcholinesterase and Acetylcholinesterase: A Crystallographic, Kinetic and Calorimetric Study, *Molecules*, 22, 2098.
- Shaikha., S., Dhavanb, P., Pavalea, G., Ramanaa, M.M.V., and Jadhavb, B.L. (2020) Design, synthesis and evaluation of pyrazole bearing  $\alpha$ -aminophosphonate derivatives as potential acetylcholinesterase inhibitors against Alzheimer's disease. *Bioorganic Chemistry* 96, 103589.
- Srivastava S., Ahmad R., and Khare S. K. (2021). Alzheimer's disease and its treatment by different approaches: A review, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 216, 113320.
- Tian T., Weng L., Wang S., Weng X., Zhang L, and Zhou X. (2009). Cationic tetrapyrrolic macromolecules as new acetylcholinesterase inhibitors, *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 13, 893–902.
- Tosun G., Arslan T., Iskefiyeli Z., Küçük M., Karaoğlu Ş.A., and Yaylı N. (2015). Synthesis and biological evaluation of a new series of 4-alkoxy-2-arylquinoline derivatives as potential antituberculosis agents, *Turkish Journal of Chemistry*, 39, 850.
- Yalazan H., Akyüz D., Serdaroglu V., Kahriman N., Koca A. and Kantekin H. (2020). Novel peripheral tetra-substituted phthalocyanines containing methoxylated chalcone group: Synthesis, spectral, electrochemical and spectroelectrochemical properties, *Journal of Organometallic Chemistry* 912, 121181.

## **Karataş Deresi (Pazaryolu-Erzurum)'nin Bazı Hidrobiyolojik, Hidrolojik ve Fizikokimyasal Su Kalitesi Özellikleri, Balık Faunası ve Hidro-Elektrik Santral Projelendirilmesi Açısından Değerlendirilmesi**

Bülent VEREP<sup>1\*</sup>, Davut TURAN<sup>2</sup>, Cengiz MUTLU<sup>3</sup>

### **Öz**

Bu çalışmada Erzurum iline bağlı Pazaryolu ilçesinin Karataş köyünden geçen Karataş deresinin bazı hidrobiyolojik, hidrolojik ve fizikokimyasal su kalitesi özelliklerinin belirlenmesiyle akarsu üzerinde planlanmış bir HES projesinin kurulacağı dere yatağı alanının incelenmesi ve balık popülasyonu, fizikokimyasal su kalitesi ve hidrolojik parametreler açısından değerlendirmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Karataş köyü girişinde bulunan mansaptan akarsuyun membasına kadar su ve balık örneklemeleri yapılmış, akarsu yatağı boyunca tarım arazilerine bağlanan su kanallarında akış hızı ölçülerek her arkın debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma süresince akarsu yatağında yapılan ölçüm ve gözlemler neticesinde Karataş deresinde Salmonidae, Leuciscidae ve Cyprinidae familyalarına ait 5 farklı balık türünün yaşadığı, fizikokimyasal su kalitesinin kıta içi su kalite standartlarına göre 1. sınıf veya çok temiz statüsünde olduğu ve akarsu havzasının etrafında dere suyu kullanılarak tarımsal ürünler üretilmesi sebebiyle habitatın çok iyi korunduğu, gerek su kalitesi ve gerekse akarsu yatağının bitki örtüsü sayesinde dere yatağı üzerindeki sulama kanalları ağızlarında önemli bir doğal balık üretim ve besleme bölgesinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu sucul yaşam alanının korunması gerektiği ve Karataş deresi akarsu yatağı üzerinde kurulması planlanan HES projesinin gerek akarsu sucul yaşamına ve gerekse akarsu havzası karasal alanlarındaki tarımsal üretimine geri dönüşümsüz etkiler oluşturabileceği kanısına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karataş deresi, balık faunası, su kalitesi.

## **Evaluation of Karataş Stream (Pazaryolu-Erzurum) in terms of Some Hydrobiological, Hydrological and Physicochemical Water Quality Characteristics, Fish Fauna and Hydro-Electric Power Plant Project**

### **Abstract**

In this study, it was aimed to determine some hydrobiological, hydrological and physicochemical water quality characteristics of Karataş stream passing through Karataş village of Pazaryolu district of Erzurum province, to examine the creek bed area where a HEPP project planned on the river will be established and to evaluate it in terms of fish population, physicochemical water quality and hydrological parameters. For this purpose, water and fish samples were taken from the downstream at the entrance of Karataş village to the upstream of the stream, and the flow rate of each channel to agricultural garden was tried to be determined by measuring the flow rate in the water channels connected to the agricultural lands along the stream bed. As a result of the measurements and observations made in the riverbed during the study, it was found that five different fish species belonging to the families Salmonidae, Leuciscidae, and Cyprinidae live in the Karataş stream, that the physico-chemical water quality is first class or very clean according to the standards for water quality of inland waters, and that agricultural products are produced by using the stream water around the river basin. It has been observed that an important natural fish production and feeding area has been formed at the mouths of the irrigation channels on the stream bed, thanks to both the water quality and the vegetation of the stream bed. Therefore, it has been concluded that this aquatic habitat should be protected and that the HEPP project planned to be built on the riverbed of Karataş creek may cause irreversible effects both on the aquatic life of the river and on the agricultural production in the terrestrial areas of the river basin.

**Keywords:** Karataş stream, fish fauna, water quality.

<sup>1</sup>RTEÜ, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Rize, Türkiye, bulent.verep@erdogan.edu.tr

<sup>2</sup>RTEÜ, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Rize, Türkiye, davut.turan@erdogan.edu.tr

<sup>3</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, cengiz.mutlu@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4238-8325>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9586-6223>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-9741-4167>



## 1. Giriş

Çoruh havzasında yer alan Karataş deresi, Doğu Anadolu Bölgesi'nin karasal iklimi ile Karadeniz ardı iklimi arasında kalmakta olduğundan geçiş bölgesi iklim özelliklerine sahiptir. Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları serin ve yağışlıdır (Anonim, 2020). Dolayısıyla tarımsal faaliyetlerin ilkbaharın sonlarıyla yaz ayları boyunca kurak dönemlerde yapılması, bölgede akarsu, diğer su kaynakları ve akarsu yatağı etrafındaki alanların sulanmasının önemini ortaya çıkarmaktadır. Bu bölgede arazi kıtlığı ve su kaynağına yakınlık sebepleriyle akarsu yatağı etrafında taşkın düzlemlerinde zaman içerisinde oluşan düzlük arazileri genellikle tarımsal faaliyetler, orta ve küçük ölçekli sanayi tesisleri, hidroelektrik santralleri ve çoğunlukla yerleşim alanı olarak kullanılmaktadır. Bu alanların kullanımı arazi kıtlığı yaşanan Doğu Karadeniz bölgesi kıyı ve iç kesimlerindeki vadilerde önemli iktisadi kazanımlar oluştururken, sel ve taşkınlarda maddi zarar ve can kayıpları, normal dönemlerde ise gerek endüstriyel ve gerekse yerleşim alanlarının atık suları sayesinde su kirliliği sorunları oluşturmaktadır (Verep, 2019; Verep ve ark., 2017; Mutlu and Verep, 2018).

24 Ağustos 2012 tarihinde arazi gözlem ve ölçümleri yapılmak üzere bahsi geçen Karataş köyü ve çevresinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü bölge, Çoruh nehri ana koluna dökülen ve adını üst havzasında yer alan Karataş köyünden alan Karataş deresi su havzasından oluşmaktadır. Çoruh nehrine dökülen Karataş deresi, kaynaklarından alt havzalara doğru Karataş köyü üst havzasında küçüklü büyüklü alt kolların birleşmesiyle oluşmaktadır. Karataş deresinin Çoruh nehrine döküldüğü noktada derenin sağında Süleymanbağı solunda ise Çatakbahçe köyü yer almaktadır. Bu köylerden üst kotlara doğru çıkıldığında, Karataş deresi Sadaka köyünün ortasından geçmekte ve nihayetinde Karataş deresi üst havzasını oluşturan Karataş köyü topraklarını iki parçaya bölmektedir. Arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemlere dayanarak şunlar söylenebilir: Karataş deresi etrafında yer alan Karataş köyünde iktisadi faaliyetler tarım ve hayvancılık ağırlıklıdır. Genellikle büyük ve küçükbaş hayvancılığın yanında kümes hayvanları ve arıcılık önemli geçim kaynağıdır. Ayrıca bölgenin tarımsal faaliyetleri içerisinde bahçe bitkileri özellikle İspir fasulyesi namıyla ünlenmiş ürünler tarımsal sulama ile yetiştirilmektedir (Şekil 1).



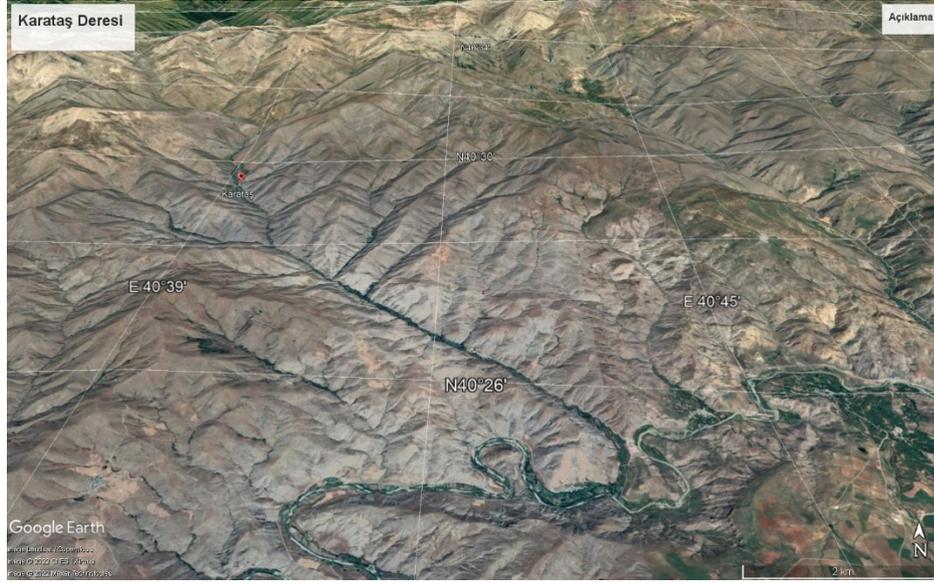
Şekil 1. Karataş deresi taşkın düzleminde yürütülen tarımsal faaliyetler

Karataş köyünde gerçekleştirilen tarım ve hayvancılık faaliyetleri genellikle Karataş deresi su kanalına yani akarsu yatağına çok yakın ve özellikle bahçe bitkileri yetiştiriciliği akarsu taşkın düzleminde gerçekleştirilmektedir (Şekil 1). Hayvancılık faaliyetleri mera ve yaylalarda gerçekleştirilmektedir. Tarımsal faaliyetler iklime göre değil daha çok tarımsal sulama ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle akarsu yatağı üzerinde insan eliyle açılmış su kanalları veya arklarıyla tarımsal üretim gerçekleştirilen bahçeler ve bu bahçelerin hemen üst kısımlarında yer alan çayırılık veya meralar sulanmaktadır. Karataş deresi üst kotlarına doğru çıkıldıkça sulama daha çok meralara doğru gerçekleştirilmektedir. Meralarda ise genellikle büyük ve küçükbaş hayvancılık faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Berg (1949), Karadeniz havzasında dağılım gösteren tatlı su balıkları ile ilgili taksonomik araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada, özellikle Çoruh Nehri'nde dağılım gösteren bazı türlerden söz etmiştir (*Leuciscus cephalus orientalis*, *Chondrostoma colchicum*, *Barbus tauricus escherichi*, *Chalcalburnus chalcoides derjugini*, *Neomacheilus angorae*). Slastenonko (1955-56), Karadeniz balıklarıyla ilgili yaptığı çalışmada Çoruh Nehri'ndeki yaşayan bazı balık türlerinden söz etmiştir (*Leuciscus cephalus orientalis*, *Chondrostoma colchicum*, *Barbus tauricus*, *Chalcalburnus chalcoides derjugini*, *Vimba vimba tenella*, *Neomacheilus angorae*). Çoruh Nehri'nin balık faunası ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları Kuru (1971, 1975) ve Turan (2003) Çoruh nehrindeki balıkları sistematik yönden incelemiştir. Turan ve ark. (2006a, 2006b) *Capoeta* cinsine ait 3 yeni tür tanımlamışlardır. Bunlardan, *Capoeta ekmekciae* ve *C. banarescui* Çoruh Nehri'nde, *C. baliki* türünün ise Sakarya Nehri'nde dağılım gösterdiği belirtilmiştir (Turan ve ark.,

2006'a, 2006b). Turan (2009) Çoruh Nehri'nden iki yeni alabalık türü tanımlamışlardır. Bu çalışmalar incelendiğinde, Karataş Deresi'nde balık faunası üzerine hiçbir çalışma yapılmadığı görülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot



Şekil 2. Çalışma alanı

Çalışma alanı olan Karataş deresi, Karataş köyünün üst kısımlarında Uzundere ismini alan Karataş deresinin membasını oluşturan kesimden başlayarak Karataş köyünden geçerek aşağı kesimlerinde Sadaka köyü sonrasını oluşturan mansap kesiminden sonra Çoruh nehrine bağlanmaktadır. Bölgedeki köylerde tarımsal faaliyet akarsu yatağında bulunan arklar aracılığıyla bahçelere taşınan sulama yoluyla yapılmaktadır. Karataş ve Sadaka köylerinden geçen akarsu Erzurum ili Pazarköy ilçesinde bulunmakta olup karasal iklimin hüküm sürdüğü bir alanda bulunmaktadır (Şekil 2).

Akarsu üzerinde kurulması planlanan bir HES projesi nedeniyle köyde tarımla uğraşanların akarsu yatağı üzerinde bulunan su arklarının debilerinin belirlenmesi ve akarsuyun balık faunasının tespiti amacıyla bazı hidrolojik ve hidrobiyolojik etütler gerçekleştirilmiştir. Yerinde taşınabilir WTW su kalite ölçer cihazıyla bazı fizikokimyasal su kalite parametreleri de yerinde ölçülmüştür. Elektroşok cihazıyla akarsuyun mansabından membasına kadar balık örneklemeleri ve 100 m mesafede elde edilen balık sayıları tespit edilmiştir. Balık örneklerinin toplanmasında elektroşok cihazı kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Karataş köyü deresi ve su arklarının hidrolojik özellikleri

Karataş deresinin köyü geçtiği arazi boyunca dere yatağında tarım arazilerine su götüren su kanalları veya arkları teker teker ziyaret edilmiş ve akıntıölçerle anakol ve su arklarındaki akış hızları ölçülmüştür. Arazilere su götüren su arkları genellikle insan eliyle oluşturulmuş taş, kaya ve bitkilerle oluşturulan setlerden oluşmakta ve arazi içlerine doğru kazılarak açılmış kanallar boyunca su getirilmeye çalışılmıştır. Bazı su arklarında biriktirilen sular borular aracılığıyla daha uzak bahçe ve çayırırlıklara ulaştırılmaya çalışılmaktadır.

Genel bir gözlem olarak ifade edilebilir ki köylülerin dere sularının tarımsal sulamada kullanılmasından dolayı kirlenmemesine özellikle dikkat ettikleri söylenebilir. Nitekim köy merkezinde dahi dere yatağına herhangi bir katı veya sıvı atık atılmadığı, dere yataklarının çok temiz olduğu, hiçbir şekilde kanalizasyon suyu girdisinin söz konusu olmadığı gözlenmiştir. Arazi çalışmalarına şahitlik ve rehberlik yapan köy ihtiyar heyeti üyelerince bu konuya özellikle dikkat edildiği ve köydeki bütün hanelerin foseptik çukurlar aracılığıyla sıvı atıklarını bertaraf ettikleri ve katı atıkların ise asla dere yatağına atılmadığı ifade edilmiştir. Hatta arazi çalışmaları sırasında su kanallarının oluşturulduğu anakol üzerindeki su akış hızının yavaşladığı noktalarda yoğun alabalık yavru sürülerinin varlığı gözlemlenmiştir (Şekil 3). Ayrıca dere yatağı boyunca yürüttüğümüz çalışmalarda dere yatağının temizliği ve su kalitesi bizlerin de dikkatini çekmiş olup havzanın tipik bir alabalık üreme bölgesi olabileceği tarafımızca düşünülmektedir.



Şekil 3. Karataş deresi boyunca arkların su hızını düşürdüğü gölcüklerde alabalık larvaları

Diğer yandan Karataş deresi üzerinde bir Hidroelektrik santral projesinin planlandığı bilinmektedir. Bu proje kapsamında santral ve regülatör tesislerinin yapılacağı bölgenin Karataş deresinin köyden geçtiği bölge içerisinde yer aldığı ve köy yerleşim alanının başladığı alt kotlarda santral binasının ve köyün üst kesiminde ise regülatörün yerleştirilmesi planlandığı bilinmektedir. Bu çalışmada da gerçekleştirilen ölçüm çalışmaları bu bölge içerisinde kalmaktadır. Su kalitesi ölçümünde elektro metrik yöntem kullanılmış olup çoklu problemler ihtiva eden arazi tipi WTW su kalite ölçer kullanılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında yerinde yapılan su kalite ölçümlerinde aşağıda tabloda belirtilen değerler elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Karataş deresi bazı fizikokimyasal su kalite değerleri (Ağustos 2012)

Parametre	Ölçülen Değerler		Tavsiye Edilen Değerler
	Domuzdere mevki (Santral)	Köy üstü bölgesi (Regülatör)	
Su sıcaklığı (°C)	21,2	18,3	5-25
Çözünmüş oksijen (mg/L)	7,26	7,59	>5
Çöz. Oksijen doygunluğu (%)	98,9	99,2	>60, 90-100
Toplam çözünmüş katı madde (TDS) (mg/L)	92,0	79	50-250
İletkenlik ( $\mu$ S/cm)	144	123	75-400
pH	7,63	7,38	6,5-8,2

Tablo 1’de belirtilen arazi çalışmalarında ölçülen fizikokimyasal su kalite değerleri tatlısu ekosistemi koruma kavramında tavsiye değerler içerisinde yer aldığı ve oldukça iyi bir su kalite değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Karataş deresinin bazı hidrolojik su değerleri de aşağıda Tablo 2’de verilmiştir. Hidrolojik ölçümlerde pervaneli akış ölçer su akış hızının tespitinde kullanılmıştır (Şekil 4, 5 ve 6).



**Şekil 4.** Karataş köyü alt bölgesi (Domuzdere mevki, santral bölgesi)

**Tablo 2.** Karataş deresi bazı hidrolojik su değerleri (Ağustos 2012)

Parametre	Ölçülen Değerler	
	Domuzdere mevki (Santral)	Köy üstü bölgesi (Regülatör)
Su akış hızı V (m/s)	1	0,82
Debi Q (m <sup>3</sup> /s)	0,44	0,85
Akarsu su kanal genişliği L(cm)	274	450
Akarsu su derinliği h(cm)	16	22-23

Arazi çalışmalarında üzerinde durulan ve tarafımızdan talep edilen diğer bir husus ise Köy arazisi içerisinde yer alan HES proje taslağına göre Regülatör ve Santral binası arasında ve bu proje alanı üst kesiminde tarımsal sulama amaçlı su arklarının sayı ve özelliklerinin tespitidir. Bu amaçla arazi çalışmasında 2 bölge belirlenmiştir. Bunlardan ilki HES proje alanı olup bu alandaki su arkları daha çok bahçe bitkilerini sulama amaçlı ve bu alanın üst kesimi ki bu alan köy yerleşim alanı dışında yer aldığından bu alandaki su arkları daha çok çayır ve meralık alanların sulanmasında kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda 1. bölgede 20 farklı su arki tespit edilmiştir. 2. bölgede ise akarsu yatağı iki kola ayrılmakla beraber 60'a yakın su arkının olduğu köy ihtiyar heyeti tarafından tarafımıza bildirilmiştir. Zaman yetersizliği, HES proje alanı dışında olmaları nedeniyle etkilenme ihtimalleri olmamasından dolayı 2. bölgedeki su arkları teker teker ziyaret edilememiştir. Köy arazisi içinde yer alan su arklarının listesi ve hidrolojik özellikleri aşağıdaki tabloda bildirilmiştir (Tablo 3).

**Şekil 5.** Karataş deresi menbaası (Köyüstü regülatör bölgesi)



Şekil 6. Sulama amaçlı su arklarından bir örnek

**Tablo 3.** Karataş deresinin geçtiği Karataş köy alanı ve HES proje alanı dahilinde yer alan tarımsal sulama amaçlı su arklarının hidrolojik özellikleri

Ark no	Sahibi veya ismi	Genişlik (cm)	Derinlik (cm)	Akış hızı (m/s)	Yaklaşık Debi (m <sup>3</sup> /s)	(lt/s)
1	İlhanlar-1 (Rıfat İlhan)	75	21	0,24	0,04	40
2	İlhanlar-2	65	19	0,20	0,02	20
3	İlhanlar-3	57	18	0,18	0,02	20
4	İlhanlar-4	63	22	0,26	0,04	40
5	İlhanlar-5	180	22	0,30	0,12	120
6	İlhanlar-6	165	18	0,25	0,07	70
7	Ziya Çelik	160	19	0,27	0,08	80
8	Ahmet Ay	120	20	0,34	0,08	80
9	Temel Yılmaz	150	15	0,22	0,05	50
10	Abdurrahman Dursun	76	20	0,24	0,04	40
11	Mustafa İlhan	80	15	0,27	0,03	30
12	Naci İlhan	100	15	0,98	0,15	150
13	İlhanlar	78	16	0,24	0,03	30
14	Yusuf Güçlü	79	15	0,25	0,03	30
15	Polatlar	80	14	0,26	0,03	30
16	Zülahi İlhan	78	16	0,24	0,03	30
17	Gamlar	120	18	0,30	0,06	60
18	Alaattin İlhan	95	16	0,80	0,12	120
19	Nuri İlhan	96	17	0,78	0,13	130
20	İlhan İlhan	105	16	0,75	0,13	130
<b>TOPLAM</b>					1,30	1300

### 3.2. Karataş Deresi Balık Faunası

#### 3.2.1. *Salmo coruhensis* (Çoruh Alası)



Şekil 7. *Salmo coruhensis* (Çoruh alası)

Bu tür Doğu ve Orta Karadeniz bölgesindeki birçok akarsuda dağılım gösterir. Bu güne kadar her hangi bir ülkeden kaydı verilmediği için ülkemizin endemik türlerinden sayılabilir. Ekolojik toleransları oldukça yüksektir. Aşağı yukarı bazı Sazanlar türlerine (*Squalius orientalis*, *Alburnoides fasciatus*, *Barbus rionicus*, *Barbus tauricus*, *Capoeta banarescui*) yakın bir ekolojik toleransa sahiptirler ki, nispeten yavaş akıntılı sularda bu sazan türleri ile akarsu sisteminde aynı bölgesini paylaşırlar (Turan et. al. 2009). Bu tür Doğu Karadeniz bölgesindeki nispeten büyük akarsuların (Çoruh Nehri, Çağlayan Deresi, Fırtına Deresi, İyidere, Solaklı Deresi, Sürmene Deresi, Yağlı Deresi, Aksu Deresi) aşağı ve orta kısımlarında ve uzunluğu aşağı yukarı 5-10 km olan bazı küçük akarsularda (Bozukkale Deresi, Gündoğdu Deresi, Sarayköy Deresi, Söğütlü Deresi vb.) dağılım gösterdiği rapor edilmiştir (Şekil 7) (Turan et. al. 2009).

#### 1.2.2. *Salmo rizeensis* (Dağ alası)



Şekil 8. *Salmo rizeensis* (Dağ alası)



Karataş Deresi'nin yukarı kısımlarında *Salmo rizeensis* türü dağılım gösterir. Bu tür Doğu ve Orta Karadeniz bölgesindeki akarsuların birçoğunun yukarı havzasında ve yan kollarında dağılım gösterdiği bildirilmiştir. Hızlı akıntılı bol oksijenli suları tercih ederler. Bu tür Karataş Köyü mevkiinde dağılım göstermemektir (Şekil 8).

### 1.2.3. *Barbus rionicus* (Bıyıklı balık)



Şekil 9. *Barbus rionicus* (Bıyıklı balık)

*Barbus tauricus* türü Doğu Karadeniz bölgesindeki akarsuların nispetten hızlı akıntılı aşağı ve orta kısımlarında dağılım gösterir. Karataş Deresi'nin aşağı kısımlarında dağılım gösterir (Şekil 9).

### 1.2.4. *Capoeta banarescui* (Siraz balığı)



Şekil 10. *Capoeta banarescui* (Siraz balığı)

Bu tür, Karataş Deresinin aşağı ve orta kısımlarında nispeten hızlı akıntılı ve bol oksijenli sularında bulunur. Özellikle üreme döneminde, daha yukarı kısımlara doğru göç ederler ve üreme periyodunu tamamladıktan sonra tekrar beslenme habitatı olan akarsuyun bol oksijenli ve hızlı akıntılı bölgelerine geri dönerler (Şekil 10).

### 1.2.5. *Alburnoides fasciatus* (Noktalı inci balığı)



Şekil 11. *Alburnoides fasciatus* (Noktalı inci balığı)

*Alburnoides fasciatus* Karataş Deresi havzasının aşağı ve orta kısımlarında, orta akıntılı, zemini taşlı ve çakıllı olan yerlerin de dağılım gösterirler. Akıntılı yerlerde yüzeye yakın sürüler halinde, akıntısız yerlerde ise tek tek bulunurlar. Ablalık zonuna yakın bölgelerinde, bazen *Barbus tauricus* ve *Salmo coruhensis* türü ile birlikte yaşarlar (Şekil 11).

### 1.2.6. *Squalius orientalis* (Tatlısu kefali)



Şekil 12. *Squalius orientalis* (Tatlısu kefali)

Bu tür akarsuların hafif akıntılı veya durgun olan aşağı havzasında bulunur. Ekolojik toleransı yüksek olan bir türdür. Doğu Karadeniz bölgesindeki aşağı yukarı tüm küçük ve büyük akarsularda dağılım gösterir. Karataş deresinin aşağı ve orta bölgelerinde dağılım gösterir (Şekil 12).

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

1. sınıf ve çok temiz bir su kalitesi ihtiva eden Karataş deresinin sularının tarımsal sulamada kullanılmasının akarsu yatağının bölge insanı tarafından çevresel açıdan çok iyi korunmasını sağlamıştır. Mansabından membağına kadar incelenen akarsu boyunca herhangi bir katı veya sıvı atık

tespit edilememiştir. Karataş Deresi'nin üst kısmı olan Uzundere mevkiinde *Salmo rizeensis* (Dağ alabalığı) türü dağılırken Karataş köyü mevki ve aşağı mansap kısımlarında ise *Salmo coruhensis* (Çoruh alabalığı) türü baskın olarak dağılım göstermektedir. Bu türün Çoruh Nehri'ndeki en yoğun stoku Karataş Deresi havzasında Karataş köyü mevkiinde bulunmaktadır. Karataş köyü civarında, akarsuda iki farklı noktadan (Köyün aşağı kısmında 100 m uzunluğunda bir kesit ve köyün yukarı kısmında 100 m uzunluğunda bir kesit taranmıştır) elektroşok cihazı kullanarak stok tespiti yapılmıştır. Elektroşok cihazı 3 mm den küçük bireyleri etkilemeyecek şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde yavru bireylere zarar vermesi önlenmiştir.

Bu stok tespiti çalışmasında, akarsuyun Karataş köyü mevki civarında bir metre küp suda bulunan birey sayısı (birey sayısı/m<sup>3</sup>) hesaplanmıştır. 24 Ağustos 2012 tarihinde, Köyün üst kısmında akarsuyun debisi 0,85 m<sup>3</sup>/sn olarak tespit edilmiştir. Akarsuyun bu bölgesinde 100 m uzunluğundaki bir kesitte 144 birey sayılmıştır. Bu bölgede 1 m<sup>3</sup> suda 1,7 balık bulunmaktadır. Aynı tarihte köyün aşağı kısmında, akarsuyun debisi 0,44 m<sup>3</sup>/sn'dir. Bu noktada debinin azalması akarsu boyunca sulama arklarınca sulama sularının kullanılması sebebiyledir. Akarsuyun bu bölgesinden 100 m uzunluğundaki bir kesitte 150 birey sayılmıştır. Bu bölgede 1 m<sup>3</sup> suda 3,4 balık bulunmaktadır. Bu bölgede *Salmo coruhensis* türünün yoğun stok halinde bulunmasının nedeni bu bölgenin bu tür için hem üreme hem de beslenme habitatı için ideal özellikler ihtiva etmesidir. Diğer yandan bu çalışmada elde edilen diğer türlere ait bireylerin (Cyprinidae ve Leucidae) ise akarsuyun aşağı kesimlerini su sıcaklığı, akış hızı ve beslenme habitatlarına uygunluğu gibi sebeplerle tercih ettikleri anlaşılmaktadır.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- Anonim, 2020, Çoruh Havzası Taşkın Yönetim Planı, T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın Ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara.
- Berg, L.S., 1949. Freshwater Fishes of the U.S.S.R. and Adjacent Countries. Academy of Sciences of the U.S.S.R. Zoological Institute, Vol I-II-III, 341s.
- Kuru, M., 1971. The Fresh water Fish Fauna of Eastern Anatolia. İstanbul Üniversitesi. Fen Fakültesi Mecmuası, 36, 137-147.
- Kuru, M., 1975. Dicle-Fırat, Kura-Aras, Van Gölü Karadeniz Havzası Tatlısularında Yaşayan Balıkların (Pisces) Sistematik ve Zoocoğrafik Yönden İncelenmesi. Doçentlik Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, X+180 sayfa.
- Slastenenko, E., 1955-1956. Karadeniz Havzası Balıkları. Et Balık Kurumu Umum Müdürlüğü 4. Yayınları, 711s.
- Turan, D., 2003. Rize ve Artvin Yöresindeki Tatlı su Balıklarının Sistematik ve Ekolojik Yönden İncelenmesi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, XXIV+184 sayfa.
- Turan, D., Kottelat M., Kırankaya Ş.G., and S. Engin. 2006a. *Capoeta ekmekciae*, a New Species of Cyprinid Fish from Northeastern Anatolia, (Teleostei: Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 17, 147-156.
- Turan, D., Kottelat M., Ekmekçi F.G. and İmamoğlu H.O., 2006b. A Review of *Capoeta tinca*, with Descriptions of Two New Species from Turkey (Teleostei: Cyprinidae). *Revue Suisse de Zoologie*, 113, 421- 436.
- Turan, D., Kottelat, M. and Engin, S., 2009. Two New Species of Trouts, Resident and Migratory, Sympatric in Streams of Northern Anatolia (Salmoniformes: Salmonidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 20, (2009 [2010]), 289–384.
- Verep, B., Taşpınar Ölmez, B. & Mutlu, T. (2019). Salarha havzası akarsuları fiziko-kimyasal su kalitesinin araştırılması. *Anadolu Çev. Ve Hay. Dergisi*, 4(2), 188-200.
- Verep, B., Mutlu, T. , Çakır, V. & Aydın, G. (2017). Determination of physico-chemical water quality of Derepaşarı Stream (Rize-TURKEY) and evaluation according to some water quality standards, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences* , 2 (1) , 19-22 . DOI: 10.35229/jaes.297643.
- Mutlu, T. and Verep, B., (2018). The Water Quality Of Streams Flowing Into South Eastern Black Sea Coasts In Terms Of Physico-Chemical Properties, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol.27, ss.3752-3758.

## Şanlıurfa'da Tüketilen Meyan Şerbetinin Mikrobiyolojik Kalitesi

Ebru UYAR<sup>1\*</sup>, Hava GÜRLEK<sup>2</sup>

### Öz

İlave bir işlem uygulamadan satış noktasında tüketime sunulan hazır yiyecek ve içecekler, kökleri çok eskilere dayanan ve dünya genelinde gözlenen bir yeme-içme alışkanlığıdır. Yöreyle ilgili olarak ülkemizde de çok çeşitli tüketime hazır ürünler satışa sunulmaktadır. Bu çalışmada, Şanlıurfa'da tüketime sunulan meyan şerbetinin mikrobiyolojik kalitesi değerlendirilmiştir. Açık ve kapalı mekanlardan temin edilen toplam 32 adet meyan şerbeti örneği toplam canlı sayısı, maya-küf sayısı, koliform grubu bakteriler, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. ve aerobik spor oluşturan bakteriler açısından analiz edilmiştir. Toplam canlı sayısı, maya-küf sayısı, *S. aureus* ve aerobik spor oluşturan bakterilerin ortalama sayıları sırasıyla  $4.8 \times 10^7$  kob/mL,  $4.7 \times 10^3$  kob/mL,  $9.8 \times 10^5$  kob/mL ve  $3.3 \times 10^3$  kob/mL olarak tespit edilmiştir. Örneklerin %84.38'inde ortalama  $3.4 \times 10^6$  kob/mL ile koliform grubu bakteriler tespit edilirken, kalan 5 örnek bu bakteri grubu için negatif sonuç vermiştir. Analize alınan meyan şerbeti örneklerinin %78.13 (25)'ünde *Salmonella* türlerinin varlığı saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayalı olarak meyan şerbetinin mikrobiyolojik kalitesinin halk sağlığı açısından yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bildiğimiz kadarıyla bu çalışma, Türkiye'deki içime hazır meyan şerbetinin mikrobiyolojik kalitesini bildiren ilk çalışmadır.

**Anahtar Kelimeler:** Meyan şerbeti, mikrobiyolojik kalite, halk sağlığı, hijyen

## Microbiological Quality of Licorice Sherbet Consumed in Şanlıurfa

### Abstract

Ready-to-eat food and beverages, offered for consumption at the point of sale without any additional processing, are an eating and drinking habit that has roots in ancient times and is observed worldwide. Depending on the region, many ready-to-consume products are also offered for sale in our country. In this study, the microbiological quality of licorice sherbet offered for consumption in Şanlıurfa was evaluated. A total of 32 licorice sherbet samples obtained from indoor and outdoor areas were analyzed in terms of total viable count, yeast-mold count, coliform bacteria, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp., and aerobic spore-forming bacteria. The mean values for the total viable count, yeast-mold count, *S. aureus*, and aerobic spore-forming bacteria counts were determined as  $4.8 \times 10^7$  CFU/mL,  $4.7 \times 10^3$  CFU/mL,  $9.8 \times 10^5$  CFU/mL and  $3.3 \times 10^3$  CFU/mL, respectively. While coliform bacteria were detected in 84.38% of the samples with a mean value of  $3.4 \times 10^6$  CFU/mL, the remaining 5 samples gave negative results for this bacterial group. The presence of *Salmonella* species was detected in 78.13% (25) of the licorice sherbet samples analyzed. Based on the results obtained, it was concluded that the microbiological quality of licorice sherbet is not sufficient for public health. To our knowledge, this is the first study that reports the microbiological quality of ready-to-drink licorice sherbet in Türkiye.

**Keywords:** Licorice sherbet, microbiological quality, public health, hygiene

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, ebruuyar@harran.edu.tr, ebruuyar@gmail.com

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, havagurlek40@gmail.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-4022-3845>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8384-0563>

## 1. Giriş

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization-FAO) tarafından “sokaklarda ve diğer halka açık yerlerde satıcılar ya da seyyar satıcılar tarafından hazırlanan veya satılan tüketime hazır yiyecek ve içecekler” şeklinde tanımlanan sokak yiyecekleri, dünya genelinde her gün yaklaşık 2.5 milyar insan tarafından tüketilmektedir (Lamuka, 2014; Al Mamun ve Turin, 2016). Kolaylıkla ulaşılabilir olması, restoran yemeklerine kıyasla düşük maliyeti ve lezzeti dolayısıyla sokak yiyeceklerinin son yıllardaki tüketimi özellikle endüstriyel gelişimin olduğu ülkelerde artmaktadır. İçerikleri ve işlenme durumları açısından çeşitlilik gösteren bu yiyecekler; taze meyveler, sebzeler, atıştırmalıklar ve ev yapımı yemeklerden içeceklere kadar geniş bir yelpazeye sahip olmakla birlikte tüketildikleri ülkelerin kültürlerini de yansıtmaktadır (Sezgin ve Şanlıer, 2016; Abrahale ve ark., 2019). Bu gıdalar, birçok insan için günlük kalori ve besinsel ihtiyaçların önemli bir kaynağı olup içeriklerine ve hazırlanma yöntemlerine göre besinsel değerleri değişmektedir (Al Mamun ve Turin, 2016). Ülkemizde de sıklıkla tüketilen sokak lezzetleri arasında midye dolma, çiğ köfte ve kokoreç gibi yiyeceklerin yanı sıra ayran, turşu suyu, şalgam, meyan şerbeti ve boza gibi içecekler yer almaktadır (Güzeler ve Özbek, 2017).

Meyan şerbeti, Türkiye'nin özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaz aylarında sokak satıcıları tarafından soğuk olarak satışa sunulan geleneksel bir içecektir. Meyan şerbeti, meyan bitkisi köklerinin parçalanıp su ile ekstrakte edilmesiyle hazırlanmaktadır (Akan ve ark., 2013; Güzeler ve Özbek, 2017; Aday ve ark., 2018). *Leguminosae* familyasında yer alan meyan (*Glycyrrhiza glabra* L.), en çok çalışılmış tıbbi bitkilerinden birisidir. *Glycyrrhiza* cinsine üye türlere ilişkin yapılan farmakolojik çalışmalar; hipokolesterolemik ve hipoglisemik, anksiyolitik, antimikrobiyal, antiviral, antioksidan, antiülser, sitotoksik, antitümör, antialerjik, antidiyabetik, antikarsinojenik, antiinflamatuvar ve hepatoprotektif aktivitelerin de dahil olduğu çok çeşitli farmakolojik aktivitelerin varlığını göstermiştir (Durmaz ve ark., 2018; Mamedov ve Egamberdieva, 2019; Mohammed ve ark., 2021). Temel biyoaktif bileşikler arasında çoğunlukla sekonder metabolitler ve bunların türevleri olan glikozidler, flavanoidler, fenolikler, saponinler, tanninler, terpenler, antrakinonlar, esansiyel yağlar ve steroidler yer almaktadır. 400'den fazla bileşiğin izole edildiği *Glycyrrhiza* türlerinde temel bileşenler, geniş biyolojik aktivite gösteren triterpen saponinler ve flavanoidlerdir (Mamedov ve Egamberdieva, 2019). Tüm bu faydaları nedeniyle yaz mevsiminde serinletici bir içecek olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Talep fazla olmasına karşın üretim aşamasında pastörizasyon gibi muhafaza yöntemlerinin uygulanmaması nedeniyle raf ömrü oldukça kısadır. Ayrıca, yüksek su aktivitesinin yanı sıra asitliğinin de düşük olması nedeniyle mikrobiyal bozulmaya oldukça müsaittir (Aday ve ark., 2018).

Yoğun olarak tüketilmesine rağmen, satışa sunulan meyan şerbetlerinin mikrobiyolojik kalitesinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, Şanlıurfa ilindeki sokak satıcıları tarafından tüketime sunulan meyan şerbetinin mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi ve halk sağlığı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Örneklerin Toplanması

Meyan şerbeti örnekleri Şanlıurfa'nın farklı lokasyonlarındaki sokak satıcılarından 2020 yılı Temmuz-Eylül ayları arasında temin edilmiş, steril kaplarda ve soğuk zincir altında muhafaza edilerek laboratuvara transferi gerçekleştirilmiştir. Gruplandırılarak farklı günlerde birkaç defada toplanan 32 meyan şerbeti örneği, toplandığı gün içerisinde mikrobiyal yükün belirlenmesi için analize alınmış ve analizin yapılacağı zamana kadar 4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

### 2.2. Örnek pH'larının Belirlenmesi

Her bir örnek için 100 mL hacim kullanılarak pH metre (Hanna, USA) cihazı ile pH değerleri ölçülmüştür. pH ölçümleri, örneklerin toplandığı gün içerisinde yapılmıştır. Sonuçlar, 3 bağımsız ölçümün ortalaması alınarak verilmiştir.

### 2.3. Örneklerin Hazırlanması

Mikrobiyolojik analizlere başlamadan önce Maximum Recovery Diluent (MRD) (pepton 1g/L, NaCl 8.5 g/L) hazırlanmış ve otoklavlanarak steril edilmiştir. Tüp dilüsyon tekniği ile meyan şerbeti örneklerinin  $10^{-1}$ - $10^{-7}$  aralığındaki homojen seyreltmeleri steril MRD kullanılarak hazırlanmıştır. Toplam canlı sayımı, toplam maya-küf sayımı, aerobik spor oluşturan bakteriler, koliform bakteriler ve *Staphylococcus aureus* sayılarının belirlenmesinde bu seyreltmeler kullanılmıştır. *Salmonella* sp. varlığının tespiti için meyan şerbeti örnekleri (25 mL) ilk olarak seçici olmayan ön zenginleştirme için tamponlanmış peptonlu suya (225 mL) aktarılmış ve 37°C'de bir gün boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında bu örneklerden 1 mL alınarak, 9 mL hacimdeki Selenite Cystine Broth besiyeri içeren tüplere seçici zenginleştirme yapmak amacıyla transfer edilmiştir. Bu tüpler 37°C'de bir gün boyunca inkübe edildikten sonra *Salmonella* sp. varlığını belirlemek için kullanılmıştır.

## 2.4. Mikrobiyal Yükün Belirlenmesi

Mikrobiyolojik ekimler Halkman (2005) tarafından bildirilen klasik kültürel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre; toplam canlı sayımı için Plate Count Agar (PCA) (Merck), aerobik spor oluşturan bakterilerin sayım için Nutrient Agar (NA) (Merck), maya-küf sayımı için Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar (DRBC) (Merck), koliform bakterilerin sayımı için Violet Red Bile Lactose (VRB) Agar (Merck), *Salmonella* sp. varlığının tespiti için Xylose Lysine Deoxycholate (XLD) Agar (Merck), *S. aureus* sayımı için Egg Yolk Tellurite (Merck) içeren Bair Parker (BP) Agar (Merck) besiyerlerine ekimler yapılarak petriyerler uygun sıcaklık ve sürelerde inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında 30-300 aralığında koloni oluşturan petriyerler tespit edilerek sayım yapılmış ve daha sonra dilüsyon faktörleri ile çarpılarak örnekteki koloni oluşturma birimi (kob) hesaplanmıştır. 3 bağımsız denemenin ortalaması kob/mL olarak verilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Sokak yiyecekleri, birçok kültürde olduğu gibi ülkemizde de hem yöre halkı hem de turistler tarafından tercih edilmektedir. Bu yiyecekler, farklı patojenlerin kolaylıkla çoğalabileceği ve antimikrobiyal dirençli patojenlerin de bulaşması için genel bir ortam sağlamaktadırlar (Hanashiro ve ark., 2005; Guven ve ark., 2010). Ayrıca, gerekli hijyen ve muhafaza koşulları sağlanmadığında gıda kaynaklı hastalıklara neden olduğu için salgınlarla da ilişkilendirilmiştir (Ekanem, 1998; Aluko ve ark., 2014). Tüm bu sebeplerden dolayı, sokak yiyeceklerinin güvenilirliği halk sağlığı açısından küresel anlamda önemli bir kaygı kaynağı oluşturmaktadır.

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından gıdaların mikrobiyolojik kriterleri ile gıda işletmecilerinin uyması ve uygulaması gereken kurallar, 29/12/2011 tarih ve 28157 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan ve hala yürürlükte olan “Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği”nde belirtilmiştir. Ancak bu yönetmelikte, üretiminde kurutulmuş bitki kökleri kullanılan meyan şerbeti için tanımlanmış belli bir kriter bulunamamıştır. Bununla beraber; meyve suları, alkolsüz içecekler ve benzeri gıdaların yanı sıra kahve ve çay örneklerinde aranması gereken mikrobiyal gruplar arasında maya-küf, koliform bakteriler ve *Salmonella* gibi mikrobiyal gruplar yer almaktadır. Bu nedenle, sokak içeceği olarak satılan meyan şerbetlerinin mikrobiyolojik kalitesinin araştırıldığı mevcut çalışma, yukarıda sözü geçen bu mikrobiyal grupların yanı sıra gıdaların mikrobiyolojik analizinde kullanılan toplam canlı sayısı, *S. aureus* ve aerobik spor oluşturan bakterilerin sayısının belirlenmesini de içermektedir.

Bu çalışmada, tüketime hazır içecek olarak Şanlıurfa’da satışa sunulan 32 adet meyan şerbeti örneği mikrobiyolojik olarak değerlendirilmiş ve elde edilen mikrobiyal sayım sonuçlarının yüzdelik



dağılımları Tablo 1’de verilmiştir. Gıdalar için yapılan toplam canlı sayımı, patojen mikroorganizmaların bir göstergesi olmamasına rağmen söz konusu gıda örneğinin mikrobiyal yükünü belirleyen önemli bir kriter olarak değerlendirilebilir (Khan ve ark., 2015; Mohd Nawawee ve ark., 2019). Bu nedenle, gıda örneklerinde mikrobiyal kalitenin belirlenmesini amaçlayan çalışmalarda sıklıkla toplam canlı sayımı yapılmaktadır. Analiz edilen 32 meyan şerbeti örneğinde tespit edilen en düşük toplam canlı sayısı  $5.7 \times 10^4$  kob/mL, tüm örnekler için ortalama toplam canlı sayısı ise  $4.8 \times 10^7$  kob/mL olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Elazığ’da satışa sunulan açık ayranların mikrobiyal ve kimyasal kalitesinin incelendiği bir çalışmada yüksek düzeyde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı ( $8.02 \log_{10}$  kob/mL) tespit edilmiştir (Patır ve ark., 2006). Bangladeş’deki Dhaka Üniversitesi kampüsünün sokaklarında satılan meyve suları ve şerbetlerden oluşan içeceklerin mikrobiyolojik olarak değerlendirildiği çalışmada ise toplam canlı sayısının  $7.7 \times 10^3$ - $9 \times 10^8$  kob/mL aralığında olduğu, en yüksek mikrobiyal yükün de şerbetlerde gözlemlendiği rapor edilmiştir. Aboagye ve ark. (2020), Gana’daki bir üniversiteye ait kafeteryalarda yerel olarak hazırlanıp satılan 2 farklı alkolsüz içeceğin (sobolo ve asaana) mikrobiyolojik kaliteleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. *Hibiscus sabdariffa* kullanılarak hazırlanan “sobolo” (ebegümeci çayı) ile “asaana” olarak adlandırılan karamelize şeker içerikli fermente mısır içeceği genellikle sokak satıcıları tarafından hazırlanıp satılmaktadır. Üretim ve satışı bakımından meyan şerbetine benzerlik gösteren bu içeceklerdeki toplam canlı sayısının sobolo için  $1.10 \times 10^6$ - $1.55 \times 10^8$  kob/mL, asaana için de  $1.0 \times 10^6$ - $5.94 \times 10^8$  kob/mL aralığında olduğu belirlenmiştir. Nijerya’nın Osun eyaletindeki bazı marketlerde satışa sunulan sobolo’nun mikrobiyal analizinin yapıldığı bir başka araştırmada ise benzer oranda bakteriyal yük ( $1.2 \times 10^2$ - $1.2 \times 10^6$  kob/mL) saptanmıştır (Risiquat, 2013). Yine, *H. sabdariffa*’nın kaliksleri ile Kamerun’da yerel olarak üretilip sokak satıcıları tarafından satışı yapılan “foléré” adındaki alkolsüz içeceklerin 195 tanesi üzerinde yapılan incelemede ortalama toplam canlı sayısı  $4.2 \times 10^6$  kob/mL olarak belirlenmiştir (Bayoı ve ark., 2019). Elde edilen bulgular daha önceki çalışma sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde, açık olarak satışı yapılan içeceklerin yüksek seviyede mikrobiyal kontaminasyona maruz kaldığı görülmektedir.

Olumsuz fiziksel koşullara karşı direnç gösterme kabiliyetindeki maya ve küfler, hava ile temas eden gıdaları kolaylıkla kontamine edebilmekte ve özellikle ürettikleri mikotoksinler nedeniyle de mikotoksikozis adı verilen toksik sendromlara neden olabilmektedirler (Vural ve ark., 2004; Erginkaya ve Kabak, 2021). Mevcut çalışmada, meyan şerbeti örneklerindeki toplam maya-küf sayısı için  $9.0 \times 10^1$  -  $4.9 \times 10^4$  kob/mL ( $\sim 1.95$ - $4.69 \log_{10}$  kob/mL) aralığında değerler elde edilmiş ve ortalama sayı  $4.7 \times 10^3$  kob/mL ( $\sim 3.67 \log_{10}$  kob/mL) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlarla uyumlu olacak şekilde, Aboagye ve ark. (2020) tarafından sobolo ve asaana içeceklerinde rapor edilen en yüksek ve en düşük maya-küf sayısı sırasıyla  $2.29$ - $4.86 \log_{10}$  kob/mL ve  $2.098$ - $4.23 \log_{10}$  kob/mL’dir. Öte yandan Patır ve ark. (2006) tarafından satışa sunulan açık ayranlarda saptanan ortalama maya-küf

sayısı  $5.52 \log_{10}$  kob/mL'dir. Söz konusu içeceklerin kontaminasyon düzeylerine ilişkin elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların, gıda içeriğinin yanı sıra hazırlama ve muhafaza koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

**Tablo 1.** Meyan şerbeti örneklerinde tespit edilen mikroorganizma sayılarının dağılımı

Mikroorganizma sayısı (kob/mL)	Toplam canlı		Maya-küf		Koliform		<i>S. aureus</i>		Aerobik sporlu bakteriler	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
0-1.0x10 <sup>1</sup>	-	-	-	-	5	15.63	-	-	-	-
1.0x10 <sup>1</sup> -9.9x10 <sup>1</sup>	-	-	1	3.13	4	12.50	-	-	3	9.38
1.0x10 <sup>2</sup> -9.9x10 <sup>2</sup>	-	-	13	40.63	-	-	-	-	12	37.50
1.0x10 <sup>3</sup> -9.9x10 <sup>3</sup>	-	-	15	46.88	1	3.13	8	25.00	15	46.88
1.0x10 <sup>4</sup> -9.9x10 <sup>4</sup>	2	6.25	3	9.38	8	25.00	8	25.00	2	6.25
1.0x10 <sup>5</sup> -9.9x10 <sup>5</sup>	5	15.63	-	-	6	18.75	12	37.50	-	-
1.0x10 <sup>6</sup> -9.9x10 <sup>6</sup>	7	21.88	-	-	5	15.63	3	9.38	-	-
1.0x10 <sup>7</sup> -9.9x10 <sup>7</sup>	12	37.50	-	-	3	9.38	1	3.13	-	-
1.0x10 <sup>8</sup> -9.9x10 <sup>8</sup>	6	18.75	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0x10 <sup>9</sup> -9.9x10 <sup>9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 2.** Meyan şerbeti örneklerinde tespit edilen en yüksek, en düşük ve ortalama mikroorganizma sayıları

Mikroorganizma	n	Ortalama (kob/mL)	En düşük sayı (kob/mL)	En yüksek sayı (kob/mL)
Toplam canlı sayısı	32	4.8x10 <sup>7</sup>	5.7x10 <sup>4</sup>	4.5x10 <sup>8</sup>
Maya-küf	32	4.7x10 <sup>3</sup>	9.0x10 <sup>1</sup>	4.9x10 <sup>4</sup>
Koliform	27	3.4x10 <sup>6</sup>	<10	2.7x10 <sup>7</sup>
<i>S. aureus</i>	32	9.8x10 <sup>5</sup>	3.1x10 <sup>3</sup>	1.6x10 <sup>7</sup>
Aerobik sporlu bakteriler	32	3.3x10 <sup>3</sup>	1.0x10 <sup>1</sup>	2.1x10 <sup>4</sup>

*Enterobacteriaceae* familyasında yer alan koliform grubu bakteriler gıdalardaki hijyenin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Gıda örneğinde koliform varlığı, yetersiz hijyen koşulları nedeniyle meydana gelen kontaminasyonu işaret etmektedir. Yanlış veya yetersiz pastörizasyon işlemi uygulanan gıdalarda sıkça karşılaşılan bu bakterilerin kaynağı fekal kirlilik ya da toprak olabilir (Halkman, 2013; Yıldırım ve Bıçakçı, 2018). Test edilen 27 meyan şerbeti örneği (%84.4) koliform grubu bakteriler açısından pozitif sonuç vermiş, ortalama sayıları da  $3.4 \times 10^6$  kob/mL olarak hesaplanmıştır. Mohd Nawawee ve ark. (2019), Kuala Lumpur (Malezya) sokaklarında satılan farklı içeceklerin mikrobiyal güvenliğini inceledikleri araştırmalarında, test ettikleri 11 tane meyve suyu örneğinin 10 tanesinde koliform bakterilerinin varlığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, toplam koliform sayılarının ortalama değerinin  $4.75 \pm 0.79 \log_{10}$  kob/mL olduğunu rapor etmişlerdir. Mevcut çalışma, kontaminasyon kaynağı hakkında bilgi vermemektedir. Ancak, şerbetin yapımında meyan bitkisinin köklerinin kullanıldığı göz önünde bulundurulursa, bu köklerin temiz su ile dikkatlice yıkanmasının mikrobiyal yükü belirgin düzeyde azaltacağı kolaylıkla öngörülebilir.

*Bacillus cereus* gibi gıda intoksikasyonuna neden olan bazı mikrobiyal türler aerobik spor oluşturan bakteriler olarak bilinmektedirler (Griffiths ve Schraft, 2017; Aytac ve Taban, 2021). Bakteri sporları, fiziksel ve kimyasal ajanlara karşı vejetatif hücrelerden daha direçlidirler. Dolayısıyla, spor oluşturan bakterilerin varlığının/sayısının bilinmesi gıdalarda mikrobiyal yükün kontrol altına alınması için uygulanabilecek etkili yöntemler hakkında da fikir vermektedir (Remize, 2017; Bayoı ve ark., 2019; Rocha-Pimienta ve ark., 2020). Bu çalışmada, incelenen tüm meyan şerbeti örneklerinin aerobik spor oluşturan bakterileri içerdiği tespit edilmiştir. Meyan şerbetlerindeki en yüksek ve en düşük sayıları ise sırasıyla  $1.0 \times 10^1$  kob/mL ve  $2.1 \times 10^4$  kob/mL iken, ortalama sayıları  $3.3 \times 10^3$  kob/mL olarak hesaplanmıştır. Bayoı ve ark. (2019), foléré ieeğinin mikrobiyal kalitesini inceledikleri çalışmalarında yüksek düzeyde aerobik mezofilik spor oluşturan bakteriler ( $3.7 \times 10^6$  kob/mL) ile aerobik termofilik spor oluşturan bakterileri ( $2.0 \times 10^5$  kob/mL) tespit etmişlerdir. Meyan şerbeti ve foléré içeceklerinin hazırlanmasında kullanılan bitkisel materyaller toprakta yetişmektedir ve *Bacillus* gibi aerobik spor oluşturan bakterilerin primer habitatları ise topraktır (Remize, 2017). O nedenle, iyi dezenfekte edilmemiş meyan kökleri bu bakteri grubu için potansiyel kontaminasyon kaynağı olarak gösterilebilir.

Gıda kaynaklı patojenler olarak bilinen *Salmonella* türleri, içme suları ve doğal su kaynaklarında da bulunabilmektedir. Avrupa Birliğı'ne üye olan ülkelerde tespit edilen gıda kaynaklı hastalık vakalarında ilk sırada yer alan bu bakterinin gıdalarda varlığı istenmemektedir (Zorba, 2021). Zulfakar ve ark. (2021) tarafından Malezya-Kuala Lumpur'da gerçekleştirilen bir çalışmada, toplamda 31 farklı sokak ieeğı *Salmonella* ve *Citrobacter* türleri bakımından incelenmiş ve antibiyotik direnç profilleri belirlenmiştir. Test edilen örneklerin sadece 1 tanesinde *Salmonella* varlığı belirlenmiştir. Endonezya'daki bir ilkokulun kantininde satışı sunulan içeceklerde *Salmonella* cinsi bakterilerin varlığını araştıran bir başka çalışmada, incelenen hiç bir örnekte bu bakteri tespit edilmemiştir (Adzhani ve ark., 2018). Radji ve ark. (2010) tarafından yürütölen çalışmada ise yine Endonezya'da satılan yiyecek ve içeceklerin incelendiğı 29 örnekten sadece 5 tanesinde *Salmonella* tespit edilmiştir. Bu çalışmaların aksine, meyan şerbeti örneklerinden 25 tanesi (~%78) *Salmonella* için pozitif sonuç vermiştir.

İnsanda deri ve burun florasının yanı sıra doğada da yaygın olarak bulunan *S. aureus*, ürettiğı toksinler nedeniyle gıda intoksikasyonuna neden olmaktadır. Bu sebeple, meyan şerbetleri *S. aureus* mevcudiyeti bakımından da incelenmiştir. Test edilen örneklerin tamamında *S. aureus* varlığı tespit edilmiş olup ortalama sayısı  $9.8 \times 10^5$  kob/mL olarak hesaplanmıştır. Iqbal ve ark. (2016), paketlenmiş meyve suları üzerinde gerçekleştirdikleri mikrobiyal analizde daha düşük sayısal değerler elde etmiş, 90 örnekten 35 tanesi için pozitif sonuç aldıkları incelemelerinde *Staphylococcus* cinsi bakteriler için en yüksek sayının  $4.89 \pm 0.83 \log_{10}$  kob/mL olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, Nawawee ve ark. (2019)'nın sokak içeceklerinin mikrobiyal güvenliğine ilişkin yürüttükleri çalışmada da örneklerin

%58'inde *S. aureus* kontaminasyonu tespit etmiş ve en yüksek ortalama değeri meyve suları için  $3.42 \pm 1.15 \log_{10}$  kob/mL olarak rapor etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, kontaminasyon düzeyinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Meyan şerbeti örneklerinin 16 tanesi için  $10^5$  kob/mL ve üzeri sayıda *S. aureus* tespit edilmiştir. Bu sayının üzerindeki değerlerde bakteri tarafından toksin üretme riski ortaya çıkmaktadır (Aytaç ve Taban, 2021). O nedenle, uygun depolama koşullarında şerbetlerin muhafaza edilmesi ve personel hijyenine daha çok dikkat edilmesi kontaminasyon riskinin en aza indirgenmesi açısından önem arz etmektedir.

Mikrobiyal büyüme üzerine etkisi sebebiyle toplanan meyvan şerbeti örneklerinin pH'ları da ölçülmüştür. Meyvan şerbeti örnekleri için ölçülen en düşük ve en yüksek pH değeri sırasıyla 5.4 ve 9.6'dır. Test edilen tüm örneklerin ortalama pH değeri ise 7.2 olarak hesaplanmıştır. Örneklerin 26 tanesinin 6.0-9.0 aralığındaki pH değerinde olduğu belirlenmiştir. Sayımı yapılan ve/veya varlığı tespit edilen mikroorganizmalar göz önüne alındığında, bu pH aralığının mikrobiyal büyüme için tolere edilebilir bir seviye olduğu görülmektedir (Erkmen, 2021).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, tüketimi giderek yaygınlaşan ve özellikle yaz aylarında sokak içeceği olarak satışı yapılan meyvan şerbetinin mikrobiyolojik kalitesi ilk defa değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerde, mikrobiyal yükün yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bulunması sakıncalı olan *Salmonella* türlerinin de örneklerin büyük bir kısmında var olduğu gösterilmiştir. Farklı şehirlerde de satışının yapıldığı göz önüne alınırsa, mevcut bulguların daha geniş örneklem grubu üzerinde ve/veya tüketimin yapıldığı diğer şehirlerde de tekrarlanarak meyvan şerbetinin mikrobiyolojik kalitesine ilişkin verilerin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, elde edilen veriler satışa sunulan meyvan şerbetlerinin halk sağlığını tehdit etmemesi için mikrobiyolojik kalitesinin iyileştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Yapılan çalışma, kontaminasyon kaynağı ve/veya kaynaklarına ilişkin herhangi bir analiz içermemektedir. Ancak, (i) şerbet yapımında kullanılan meyvan köklerinin daha iyi temizlenmesi, (ii) şerbet yapımında kullanılan suyun mikrobiyolojik kalitesinin iyi olması, (iii) şerbeti hazırlayanların kişisel hijyene dikkat etmesi, (iv) kullanılan ekipmanların temiz olması, (v) hem depolama hem de satış sırasında soğuk zincirin korunması ve (vi) mümkünse yüksek basınç uygulaması gibi termal olmayan alternatif yöntemlerle mikrobiyal yükün kontrol altına alınması sağlanabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (HÜBAP, Proje no: 19369) tarafından desteklenmiştir.

## Yazar Katkıları

EU: Çalışmanın tasarlanması, deneylerin gerçekleştirilmesi, verilerin değerlendirilmesi, makalenin yazılması ve revizyonların yapılması, HG: Deneylerin gerçekleştirilmesi kısımlarında çalışmaya katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar, bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan ederler.

## Kaynaklar

- Aboagye, G., Gbolonyo-Cass, S., Kortei, N. K., and Annan, T. (2020). Microbial evaluation and some proposed good manufacturing practices of locally prepared malted corn drink (“asaana”) and *Hibiscus sabdarifa* calyxes extract (“sobolo”) beverages sold at a university cafeteria in Ghana. *Scientific African*, 8, e00330. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00330>
- Abrahale, K., Sousa, S., Albuquerque, G., Padrão, P., and Lunet, N. (2019). Street food research worldwide: a scoping review. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 32(2):152-174. <https://doi.org/10.1111/jhn.12604>
- Aday, S., Pala, Ç. U., Çam, B. A., and Bulut, S. (2018). Storage quality and microbiological safety of high pressure pasteurized liquorice root sherbet. *LWT-Food Science and Technology*, 90:613-619. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.013>
- Adzhani, A. A., Purwanta, M., and Rahmatullah, I. (2018). *Salmonella* sp. detection in elementary school street foods in Surabaya. *Biomolecular and Health Science Journal*, 1(2), 89-92. <https://doi.org/10.20473/bhsj.v1i2.9578>
- Akan, H., Balos, M. M., and Tel, A. Z. (2013). The Ethnobotany of some Legume plants around Birecik Şanlıurfa. *ADYUTAYAM Dergisi*, 1(1), 31-39.
- Al Mamun, M., and Turin, T. C. (2016). Safety of street foods. In: P. Kotzekidou (Ed.), *Food hygiene and toxicology in ready-to-eat foods* (pp. 15-29). London, UK: Academic Press.
- Aluko, O. O., Ojeremi, T. T., Olakele, D. A., and Ajidagba, E. B. (2014). Evaluation of food safety and sanitary practices among food vendors at car parks in Ile Ife, southwestern Nigeria. *Food Control*, 40:165-171. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.049>
- Aytaç, S. A., and Taban, B. M. (2021). Gıda kaynaklı intoksikasyonlar. In: O. Erkmen (Ed.), *Gıda Mikrobiyolojisi*, (pp. 172-183). Ankara: Efil Yayınevi.

- Bayoï, J. R., Djoulde, R. D., Ehawa, F. E., and Etoa, F. X. (2019). Influence of sublethal temperatures on some spore-forming and vegetative foodborne bacteria and impact on hygienic quality of the "Foléré" (*Hibiscus sabdariffa*) beverage. *Microbiology Research Journal International*, 29(6), 1-11. <https://doi.org/10.9734/MRJI/2019/v29i630180>
- Durmaz, H., Hülül, M., and Çelik, H. (2018). Meyan (*Glycyrrhiza glabra* L.) bitkisinin antibakteriyel ve antioksidan aktiviteleri. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 7:37-41. <https://doi.org/10.31196/huvfd.501426>
- Ekanem, E. O. (1998). The street food trade in Africa: safety and socio-environmental issues. *Food Control*, 9:211-215. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00085-6](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00085-6)
- Erginkaya, Z., and Kabak, B. (2021). Fırsatçı patojenler, küfler, parazitler, virüsler, prionlar ve alg toksinleri. In: O. Erkmen (Ed.), *Gıda Mikrobiyolojisi* (pp.185-204). Ankara: Efil Yayınevi.
- Erkmen, O. (2021). *Gıda Mikrobiyolojisi*. Ankara: Efil Yayınevi.
- Güven, K., Mutlu, M. B., Gulbandilar, A., and Cakir, P. (2010). Occurrence and characterization of *Staphylococcus aureus* isolated from meat and dairy products in Turkey. *Journal of Food Safety*, 30:196–212. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2009.00200.x>
- Güzeler, N., and Özbek, Ç. (2018). Conceptual analysis of street flavors of Turkey. *Annals of The University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, 47(2):147-155.
- Griffiths, M. W., and Schraft, H. (2017). *Bacillus cereus* food poisoning. In: C.E.R. Dodd, T. Aldsworth, R.A. Stein, D.O. Cliver, H.P. Riemann (Eds.), *Foodborne diseases* (3rd ed.)(pp. 395-405). London, United Kingdom: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385007-2.00020-6>
- Halkman, K. (2005). *Merck Mikrobiyoloji El Kitabı* (1. Baskı). Ankara, Türkiye: Başak Matbaacılık.
- Hanashiro, A., Morita, M., Matté, G. R., Matté, M. H., and Torres E. A. F. S. (2005). Microbiological quality of selected street foods from a restricted area of São Paulo city, Brazil. *Food Control*, 16(5):439-444. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.05.004>
- Iqbal, M. N., Ali, S., Anjum, A. A., Muhammad, K., Ali, M. A., Wang, S., Khan, W. A., Khan, I., Muhammad, A., Mahmood, A., İrfan, M., Ahmad, A., Ashraf, A., and Hussain, F. (2016). Microbiological risk assessment of packed fruit juices and antibacterial activity of preservatives against bacterial isolates. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(6), 1695-1703.
- Khan, M. M., Islam, M. T., Chowdhury, M. M. H., and Alim, S. R. (2015). Assessment of microbiological quality of some drinks sold in the streets of Dhaka University Campus in Bangladesh. *International Journal of Food Contamination*, 2:4. <https://doi.org/10.1186/s40550-015-0010-6>
- Lamuka, P. O. (2014). Public health measures: challenges of developing countries in management of food safety. *Encyclopedia of Food Safety*, 4:20-26.
- Mamedov, N. A., and Egamberdieva, D. (2019). Phytochemical constituents and pharmacological effects of licorice: a review. In: M. Ozturk, K. R. Hakeem (Eds.), *Plant and Human Health, Volume 3* (pp. 1-21). Cham, Switzerland: Springer.
- Mohammed, F. S., Korkmaz, N., Doğan, M., Şabik, A. E., and Sevindik, M. (2021). Some medicinal properties of *Glycyrrhiza glabra* (licorice). *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 45(3):524-534. <https://doi.org/10.33483/jfpau.979200>
- Mohd Nawawee, N. S., Abu Bakar, N. F., and Zulfakar, S. S. (2019). Microbiological safety of street-vended beverages in Chow Kit, Kuala Lumpur. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22): 4463. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224463>
- Patır, B., Öksüztepe, G., Şeker, P., and Dikici, A. (2006). Elazığ'da tüketime sunulan açık ayranlar ile orijinal ambalajlı ayranların mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 20(5), 357-363.
- Radji, M., Malik, A., and Widyasmara, A. (2010). Rapid detection of *Salmonella* in food and beverage samples by polymerase chain reaction. *Malaysian Journal of Microbiology*, 6, 166-170.
- Remize, F. (2017). Spore-forming bacteria. In: A. Bevilacqua, M. S. Corbo, M. Sinigaglia (Eds.), *The Microbiological Quality of Food* (pp. 99-120). Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100502-6.00007-8>
- Risiquat, R. O. (2013). Bacteriology quality of zobo drinks consumed in some parts of Osun State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17(1), 113-117.
- Rocha-Pimienta, J., Martillanes, S., Ramírez, R., Garcia-Parra, J., and Delgado-Adamez, J. (2020). *Bacillus cereus* spores and *Staphylococcus aureus* sub. *aureus* vegetative cells inactivation in human milk by high-pressure processing. *Food Control*, 113, 107212. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107212>
- Sezgin, A. C., and Şanlıer, N. (2016). Street food consumption in terms of the food safety and health. *Journal of Human Sciences*, 13(3):4072-4083. <https://doi.org/10.14687/jhs.s13i3.3925>

- Vural, A., Arserim Kaya, N. B., and Mete, M. (2004). Bazı öğütölmüş baharatlarda küf ve maya florasının incelenmesi. *Dicle Tıp Dergisi*, 31(3), 15-19.
- Yıldırım, İ., and Bıçakçı, S. İ. (2018). Antalya'da bulunan turizm konaklama tesislerindeki gıdaların mikrobiyolojik kalitesinin incelenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 31(3):227-33. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.437200>
- Zulfakar, S. S., Zin, N. M., Zalami, S. N. S. M., and Nawawee, N. S. M. (2021). Identification and antibiotic resistance profile of *Salmonella* spp. and *Citrobacter* spp. isolated from street-vended beverages. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 29(1):593-606. <https://doi.org/10.47836/pjst.29.1.31>
- Zorba, N. N. (2021). Gıda kaynaklı invazif enfeksiyonlar. In: O. Erkmén (Ed.), *Gıda Mikrobiyolojisi* (pp.125-152). Ankara: Efil Yayınevi.

## Mide Kanserine Yönelik AGS Hücrelerinden Geliştirilen Aşı Formülasyonunun İmmünoestimulan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Murat IHLAMUR<sup>1\*</sup>, Yağmur HAMURCI<sup>2</sup>, Kübra KELLECI<sup>3</sup>

### Öz

Kanser, normal hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucunda oluşan bir hastalıktır. Kanser çeşitleri arasında akciğer, meme, kolorektum ve prostat kanserlerinden sonra dünya çapında teşhis edilen en yaygın beşinci malignite olan mide kanseri, %20'lik beş yıllık sağ kalım oranı ile en ölümcül kanser çeşitlerinden biridir. Tedavisinde cerrahi, kemoterapi, radyoterapi, immünoterapi ve hedefe yönelik ilaç terapisi gibi yöntemler sıklıkla kullanılsa da hiçbiri etkili sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. İmmünoterapi, akciğer, mide ve meme kanseri gibi kanserler için yenilikçi bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Hastalığa yakalanmadan önce bireylerde bağışıklık oluşturmak, hastalığın başlamasını engellemekle birlikte tedaviden maksimum yanıtın alınmasını da sağlayacaktır. Aşılamanın kansere karşı bağışıklık sistemini harekete geçirdiğine dair literatürde yer alan çalışmalar, kanser aşılarında umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, mide kanserine yönelik geliştirilen farklı aşı formülasyonlarının immünoestimulan etkileri, *in vitro* J774 murin makrofaj, THP-1 insan makrofaj ve L929 fibroblast hücrelerinde araştırılmış ve sitotoksiteleri tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, geliştirilen aşı formülasyonlarının hiçbir konsantrasyonda toksik etki yaratmadığı, artan protein konsantrasyonu ile birlikte immünoestimulan etkinliğin arttığı ve en yüksek değer 40 µg/ml konsantrasyonda elde edildiği tespit edilmiştir. Her üç hücre hattında maksimum protein konsantrasyonunda hücre canlılık oranlarının %80 'den fazla olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların mide kanserine yönelik aşı formülasyonlarının geliştirilmesine yardımcı olacağını, kanser immünoterapisi çalışan araştırmacılar için veri sağlayacağını söyleyebiliriz.

**Anahtar Kelimeler:** Mide kanseri, Aşı, Otoklavlama yöntemi, Hidroksiapatit, Kalsiyum Fosfat

## Evaluation of The Immunostimulant Effects of The Vaccine Formulation Developed from AGS Cells for Gastric Cancer

### Abstract

Cancer is a disease that results from the uncontrolled proliferation of normal cells. Gastric cancer, which is the fifth most common malignancy diagnosed worldwide after lung, breast, colorectal and prostate cancers among cancer types, is one of the deadliest cancer types with a five-year survival rate of 20%. Although methods such as surgery, chemotherapy, radiotherapy, immunotherapy and targeted drug therapy are frequently used in its treatment, none of them gives effective results. Therefore, there is a need to develop treatment approaches. Immunotherapy is recognized as an innovative approach for cancers such as lung, stomach and breast cancer. Creating immunity in individuals before getting the disease will prevent the onset of the disease, as well as ensure maximum response from the treatment. Studies in the literature showing that vaccination activates the immune system against cancer reveal promising results in cancer vaccines. In this study, the immunostimulatory effects of different vaccine formulations developed for gastric cancer were investigated *in vitro* in J774 murine macrophage, THP-1 human macrophage and L929 fibroblast cells and their cytotoxicity was determined. According to the results of the study, it was determined that the vaccine formulations developed did not cause toxic effects at any concentration, the immunostimulatory activity increased with increasing protein concentration, and the highest value was obtained at 40 µg/ml concentration. It was determined that cell viability rates were more than 80% at maximum protein concentration in all three cell lines. We can say that the obtained results will help the development of vaccine formulations for gastric cancer and provide data for researchers working on cancer immunotherapy.

**Keywords:** Gastric cancer, Vaccine, Autoclaving method, Hydroxyapatite, Calcium Phosphate

<sup>1</sup>Biruni Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye, [ihlamurmurat@gmail.com](mailto:ihlamurmurat@gmail.com)

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Biyoteknoloji Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, [yagmurhamurcul@gmail.com](mailto:yagmurhamurcul@gmail.com)

<sup>3</sup>Beykoz Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye, [kubrakelleci@beykoz.edu.tr](mailto:kubrakelleci@beykoz.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0458-5638>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2363-3965>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-9409-2254>



## 1. Giriş

Kanser, anormal hücrelerin kontrolsüz bir şekilde büyüme gösterdiği, vücudun hemen hemen her organında veya dokusunda başlayabilme yeteneği olan ve/veya diğer organlara yayılma özelliği gösteren önemli halk sağlığı problemlerinden biridir (Hausman, 2019).

Mide kanseri, kanser çeşitleri arasında akciğer, meme, kolorektum ve prostat kanserlerinden sonra dünya çapında teşhis edilen en yaygın görülen beşinci malignite olduğu bilinmektedir. 2020 Uluslararası Kanser Ajansı verilerine göre 1 milyon yeni mide kanseri vakası ve 768.793 mide kanserine dayalı ölüm tespit edilmiştir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de mide kanseri görülme sıklığı artmaktadır. Mide kanseri vakalarındaki artışa rağmen erken tanı ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi mide kanserine bağlı ölümleri ciddi oranda azaltmaktadır (Sung ve ark., 2021).

Mevcut tedavi yöntemleri arasında cerrahi, kemoterapi, radyoterapi, immünoterapi ve hedefe yönelik ilaç terapi yaklaşımları (Urruticoechea ve ark., 2010) yer almakla birlikte hiçbiri etkili sonuç vermemektedir. Bu nedenle mevcut tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi, yenilikçi ve etkili terapi yöntemlerinin araştırılmasına ihtiyaç vardır. Alternatif bir tedavi yöntemi olarak kanser immünoterapisi, son yıllarda önemli ölçüde gelişmiştir. Diğer terapötik kavramların aksine, immünoterapi, öncelikle hastalığın metastatik yayılmasını önlemeyi ve etkilenen bireylerin yaşam kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte hastalık başlamadan önce bağışıklık oluşturarak hastalığın başlamasını engellemekte veya daha hızlı bir şekilde tedavilerden yanıt alınmasını sağlamaktadır. İmmünoterapide uygulanan yaklaşımlar arasında yer alan aşılama bu nedenle önemlidir (Butterfield, 2015). Antijen kaynağı olarak proteinlerin yanı sıra hücrelerin de kullanımı söz konusudur. Hücrelerden antijen elde etmede genellikle otoklavlama, dondurma-çözdürme ve sonikasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır (Jacquet ve ark., 2006). Etkili ve güvenilir bir aşı formülasyonu geliştirmede adjuvan seçiminin önemli olduğu bilinmektedir. Hazırlanan antijen etkinliklerinin adjuvanlar ile artırılabilirdiği ve bu sayede antijene karşı daha yüksek bir immün yanıt elde edildiği bilinmektedir (Shi ve ark., 2019).

Hazırlanan aşı formülasyonlarının klinik araştırma fazlarına geçmeden önce in vitro koşullar altında immünotimulan etkileri ve sitotoksosite analizlerinin araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla genellikle makrofaj ve fibroblast hücre kültür sistemleri kullanılarak, hücrelerin nitrik oksit (NO) üretim miktarı incelenmektedir (Isobe ve Nakashima, 1993).

Bu çalışma kapsamında ilk kez, AGS insan mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile elde edilen antijenlerin tek başına ve farklı adjuvanlar (Hidroksiapatit (HA) ve Kalsiyum fosfat (CaP)) ile kombinasyonu ile elde edilen aşı formülasyonlarının J774 murin, THP-1 insan makrofaj ve L929 fare fibroblast hücre hatlarında in vitro koşullar altında immünotimulan aktivitesi ve sitotoksitesitesi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hücre Kültürü

Yapılan çalışmada laboratuvarımız kriyobankında bulunan L929 (fare fibroblast), J774 (fare makrofaj) ve THP-1 (insan makrofaj) hücre hatları kullanıldı. Hücre kültürü 75cm<sup>2</sup>'lik (Polistiren yüzey, NEST) flasklarda yapıldı. Stok medyumlar %1'lik penisilin-streptomisin ve L-glutamin eklenerek hazırlandı. Hücre çoğalması için L929 fibroblast kültürü %10 FBS içeren DMEM besiyerinde, J774 fare makrofaj kültürü ve THP-1 insan makrofaj kültürü %10 FBS içeren RPMI-1640 besiyerinde gerçekleştirildi (Ihlamur ve ark., 2022). Çalışmada kullanılan hücrelerin pasaj sayıları 10. ile 15. arasındadır.

Hücre kültürü 37°C, %95 nem ve %5 CO<sub>2</sub> inkübasyon şartlarında gerçekleştirildi. L929 hücre hattı enzimatik yol ile J774 ve THP-1 hücre hattı ise fiziksel yol ile toplanarak thoma lamında hücre sayımları gerçekleştirildi. 96 kuyulu plâtelere kuyu başına 1x10<sup>5</sup> hücre/mL olacak şekilde hücre ekimi gerçekleştirildi ve 24 saat boyunca inkübasyonu sağlandı (Ihlamur ve ark., 2022).

### 2.2. Antijen Hazırlama

AGS mide kanseri hücre hattının kültürü %10 FBS içeren RPMI-1640 besiyerinde 37°C etüvde gerçekleştirildi. Stok medyumlar %1'lik penisilin- streptomisin ve L-glutamin eklenerek hazırlandı. Çoğaltılan AGS kültürü toplandı ve 1 ml PBS ile yıkanarak -20°C'ye daha sonra kullanılmak üzere kaldırıldı.

Otoklavlama yöntemi ile antijen hazırlamak için, 1 ml PBS içindeki AGS kültürü çözdürüldü ve pastör şişesine alındı. Şişe otoklav cihazında 121°C, 1 atm basınç altında 20 dakika boyunca otoklavlandı. Otoklavdan çıkarılan hücreler homojenize edildi ve 10.000 rpm'de 3 dakika boyunca santrifüj edildi. Santrifüj sonrası süpernantant alınarak lizattaki protein miktarı, UV spektrometresinde Warburg-Christian yöntemi kullanılarak 280 ve 260 nm dalga boyunda ölçüldü (Kosari ve Ghaffari, 2018).

### 2.3. Nitrik Oksit Üretimi

Otoklavlama yöntemi ile elde edilen antijenler tek başına ve farklı adjuvanlar ile kombine edilerek farklı konsantrasyonlarda hazırlanan aşı formülasyonlarının fibroblast ve makrofaj hücre kültür sistemlerinde immünostimulan etkinliklerinin belirlenmesi için hücrelerin ürettikleri nitrik oksit (NO) miktarı Griess metoduyla belirlendi (Guevara ve ark., 1998). 24 saat %5 CO<sub>2</sub> içeren

37°C'deki etüvde makrofaq ve fibroblast hücre inkübasyonunun ardından altı farklı konsantrasyonda hazırlanan antijen (25 µg/ml, 40 µg/ml, 80 µg/ml, 100 µg/ml, 150 µg/ml, 200 µg/ml) ve adjuvan (Hidoksiapatit (HA) ve Kalsiyum fosfat (CaP)) kombinasyonları (40 µg/ml ve 100 µg/ml) eklendi.

48 saat inkübasyonun ardından süpernatantlar toplanarak Griess reaktifi ile reaksiyona sokuldu. Griess reaktifi 100 ml distile suya 2,5 ml fosforik asit, 0,1 g N-(1- Naphthyl) Ethylenediamine ve 1 g Sulfanilamide eklenerek hazırlandı. NO ölçümü yapılacak kültür ortamından 50 µl alınarak yeni bir 96 kuyulu plate eklendi. Örneklerin üzerine 50 µl Griess reaktifi eklendi ve oda sıcaklığında 10 dk inkübasyona bırakıldı. 540 nm'de ELISA Readerda absorbans değerleri ölçüldü.

#### 2.4. MTT Analizi

Hücre canlılığı analizi için 37°C sıcaklık, %95 nem ve %5 CO<sub>2</sub> inkübasyon şartlarında 48 saat inkübe edilen hücrelere MTT uygulandı. 3-(4,5-dimetiltiazol-2-yl)-2,5-Difeniltetrazilyum bromid içeren MTT ile hücre canlılık oranları değerlendirildi. 96 kuyulu plate üzerindeki her bir kuyucuğa 10 µl MTT solüsyonu ilave edildi. 96 kuyulu platelerdeki hücreler karanlık ortamda, 37°C'de 3 saat inkübe edildi. İnkübasyon sonrası MTT solüsyonu içeren sıvılar aspire edilerek ortamdan uzaklaştırıldı. Her kuyuya 100 µl dimetilsülfoksit (DMSO) ilave edildikten sonra well plateler 30 dk karanlık ortamda tutuldu. Formazan kristallerinin tamamen çözünmesi ile 570 nm dalga boyunda ölçüm alınarak hücre canlılık analizi gerçekleştirildi (Ihlamur ve ark., 2022). Her deney grubu üç kez tekrarlandı ve ortalaması alındı. Hücre canlılık analizi verileri denklem 1 kullanılarak elde edildi ve veri grafikleri oluşturuldu.

$$\text{Hücre Canlılığı (\%)} = \left( \frac{\text{Örnek absorbansı}}{\text{Kontrol absorbansı}} \right) * 100$$

#### 2.5. İstatistiksel Analiz

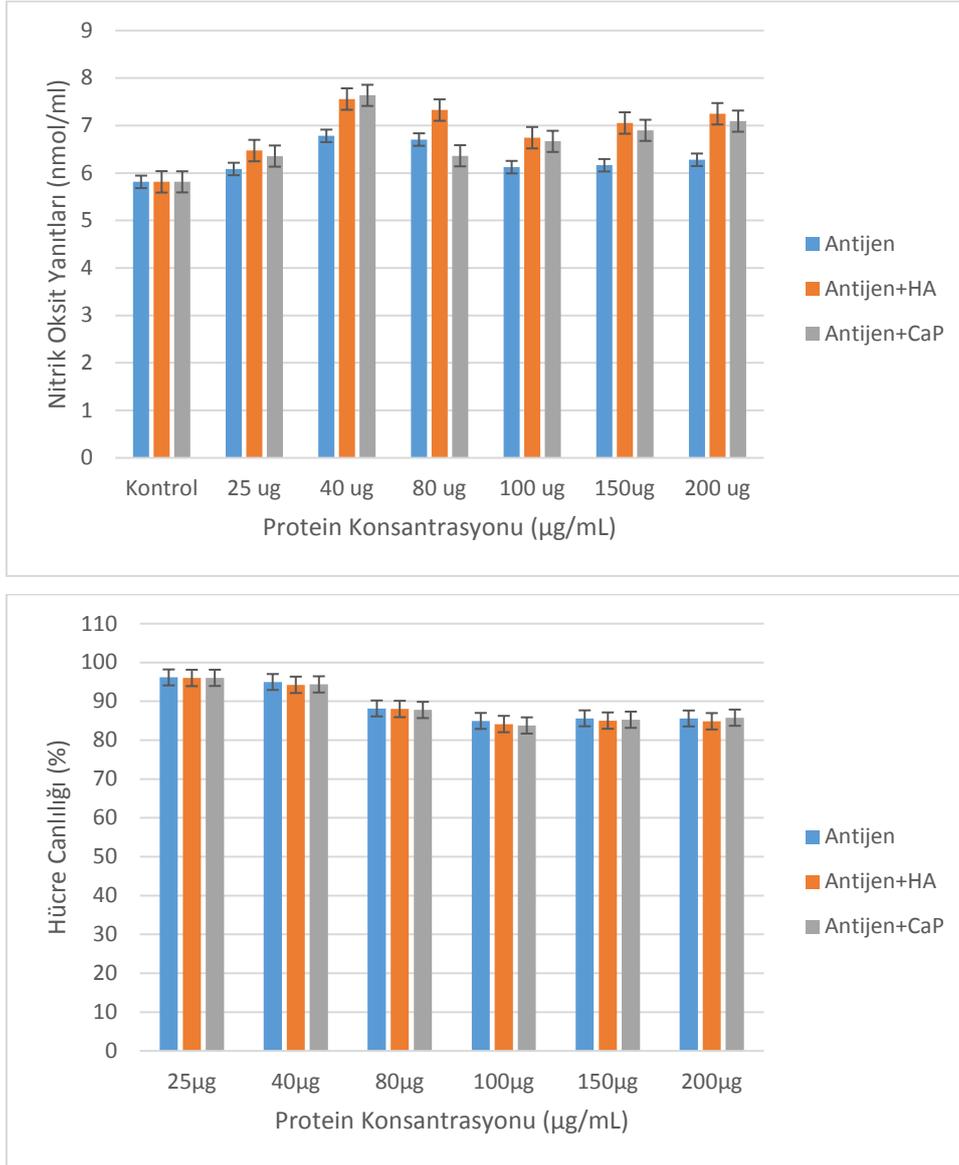
Çalışmadan elde edilen veriler IBM SPSS 25.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, ABD) paket programında analiz edilmiştir. Gruplar arası karşılaştırmalar tek yönlü varyans analizi Tek Yönlü ANOVA testi ile yapılmıştır. Sonuçlar ortalama±standart sapma (Ortalama±SD) olarak verildi ve istatistiksel anlamlılık p<0,05 olarak kabul edildi.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada AGS hücrelerinden otoklavlama metodu kullanılarak antijen hazırlanmıştır. Hazırlanan antijenlerin tek başına ve adjuvanlarla kombinasyonlarının aşılı adayları olarak

kullanılabilirliğinin belirlenmesi için J774 ve THP-1 makrofaj ve L929 fibroblast hücre kültüründe immünostimulan etkinliği ve sitotoksik etkileri incelenmiştir.

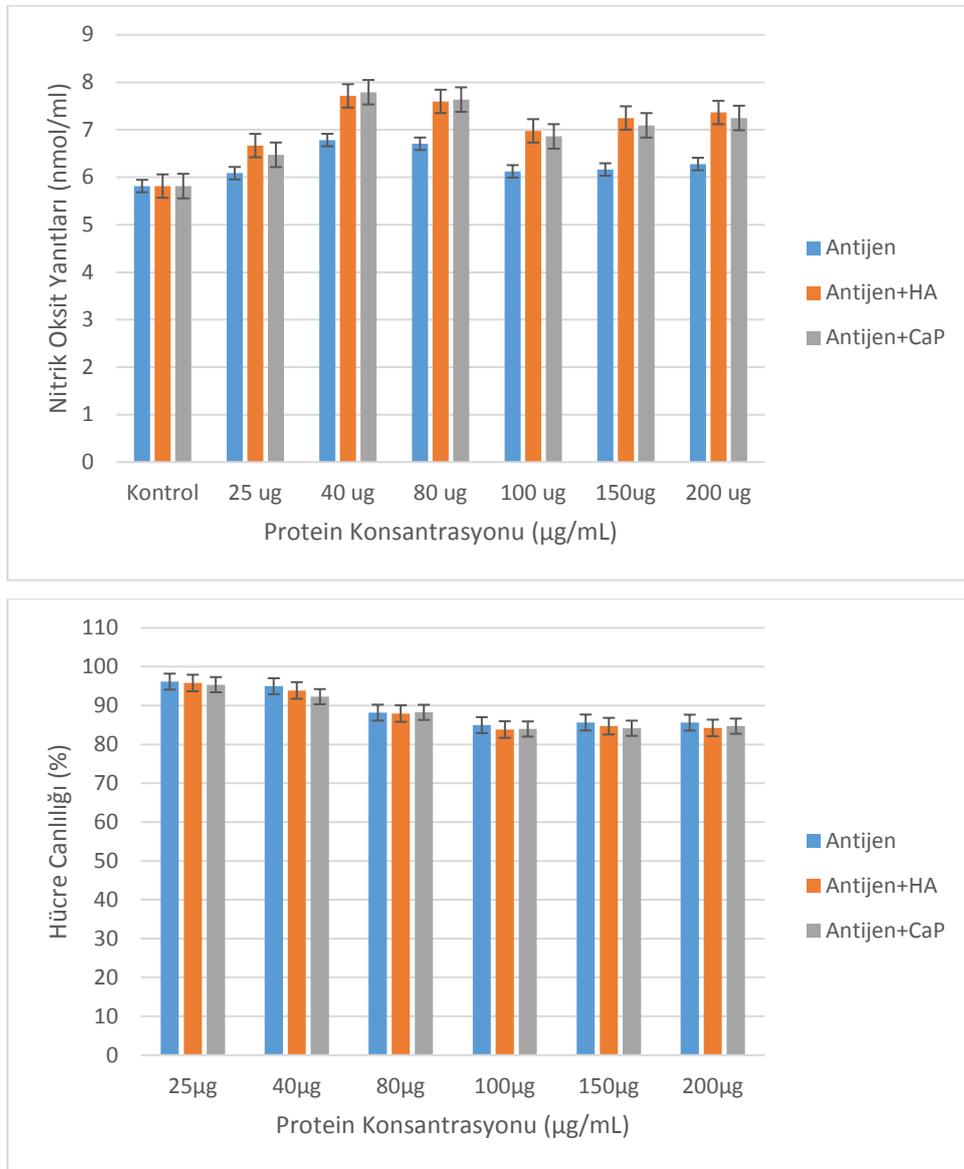
Şekillerde gösterilen hücrelerin canlılık yüzdeleri, pozitif kontrol grubunun değeri %100 olarak kabul edildiğinde, diğer gruplarda basit oran hesabı ile elde edilen % değeridir ve canlı hücre oranını belirtmektedir. MTT testi sonuçlarına göre hücre canlılığı 48. saatin sonundaki bütün gruplar arasında % hücre canlılığı üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 1. Antijen ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonlarının L929 fibroblast hücreleri üzerindeki immünostimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi

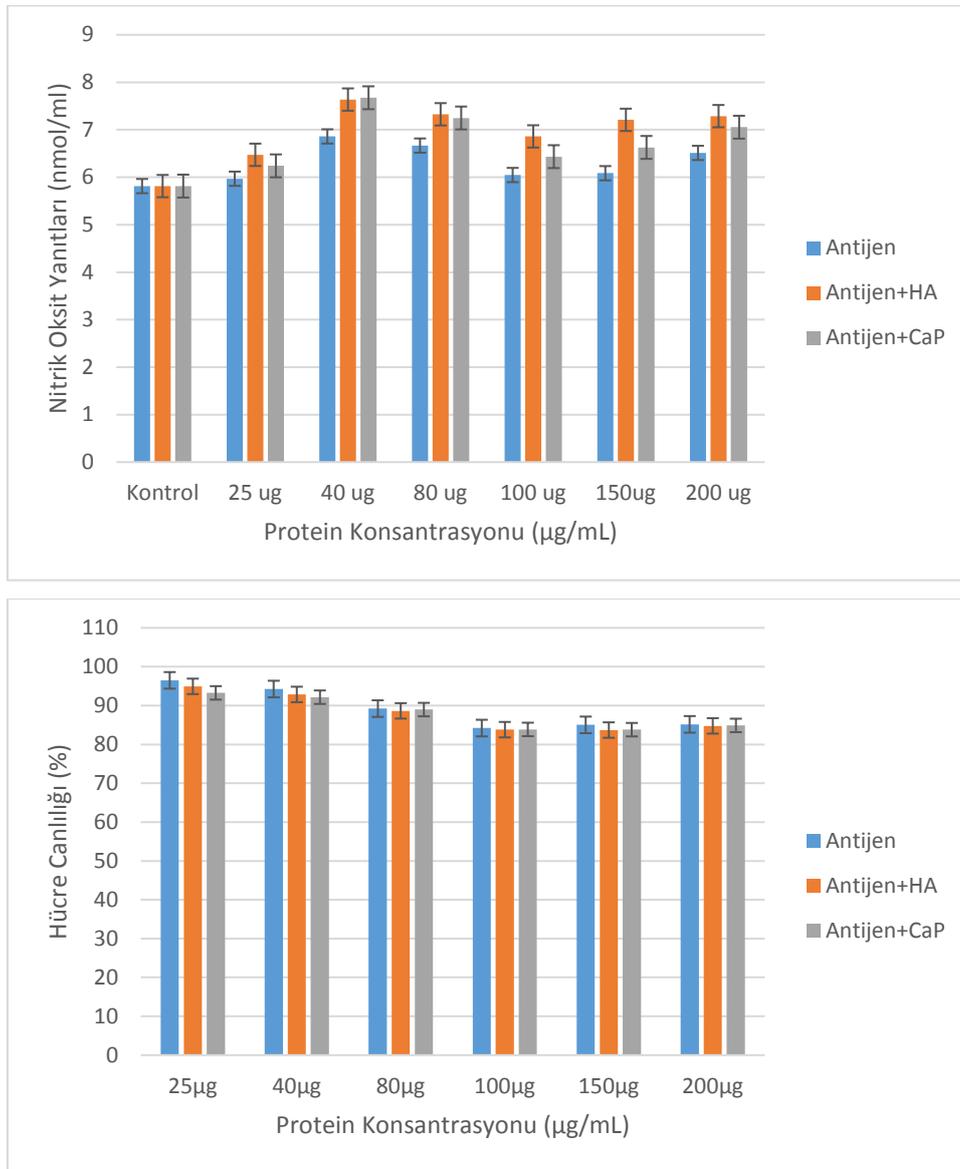
AGS mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan kombinasyonlarının (HA ve CaP) L929 fibroblast hücre kültüründe immünostimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi Şekil 1'de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin, en yüksek immünostimulan etkinliği 40 µg/ml konsantrasyonda belirlenmiştir. AGS

antijenlerinin 40 µg/ml konsantrasyonda fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 6,783 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %94,98 canlılık tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 40 ug/ml HA ve CaP adjuvan kombinasyonlarının fibroblast hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği de incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-40 ug/ml HA adjuvanı kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik ise 7,558 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %94,25 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-40 ug/ml CaP adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik ise 7,636 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %94,36 canlılık tespit edilmiştir.



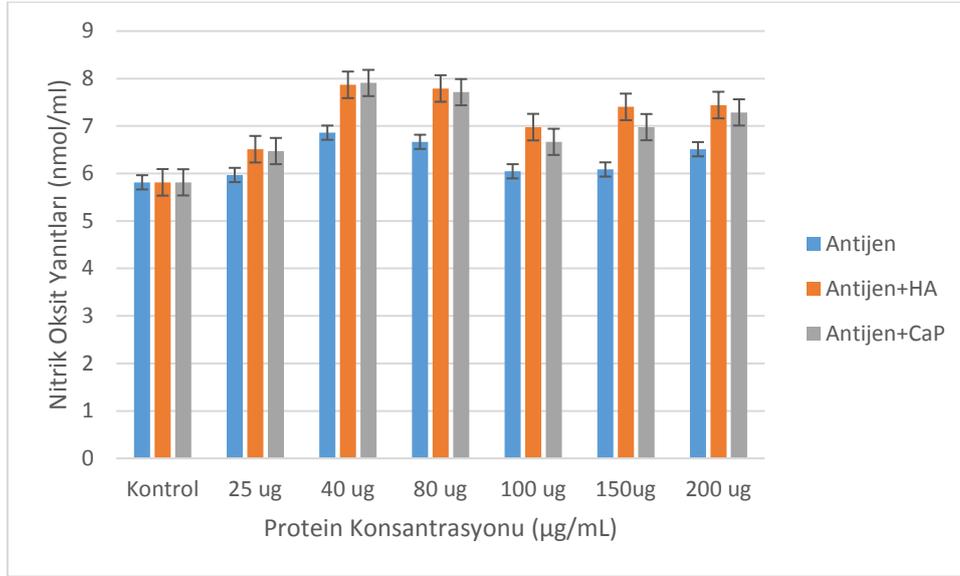
Şekil 2. Antijen ve adjuvan (100 ug/ml) kombinasyonlarının L929 fibroblast hücreleri üzerindeki immünoestimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi

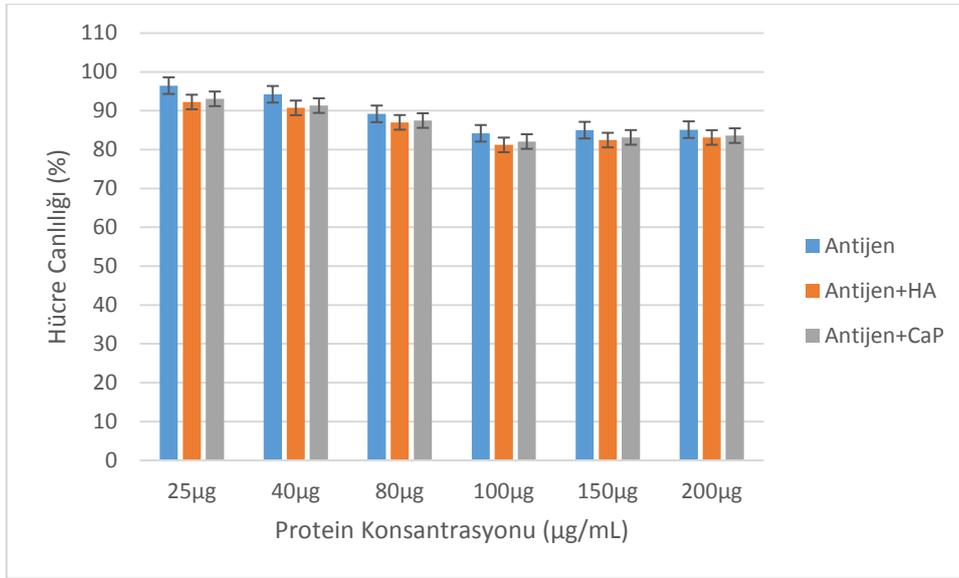
AGS mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan kombinasyonlarının L929 fibroblast hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi Şekil 2’te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 100 ug/ml HA ve CaP adjuvanlarının antijen ile kombinasyonlarının fibroblast hücre kültüründeki immünostimulan etkinliği incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-100 ug/ml HA adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,713 nmol/ml’dir. Sitotoksosite analizinde ise %93,89 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-100 ug/ml CaP adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,791 nmol/ml’dir. Sitotoksosite analizinde ise %92,28 canlılık tespit edilmiştir.



Şekil 3. Antijen ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonlarının J774 makrofaj hücreleri üzerindeki immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi

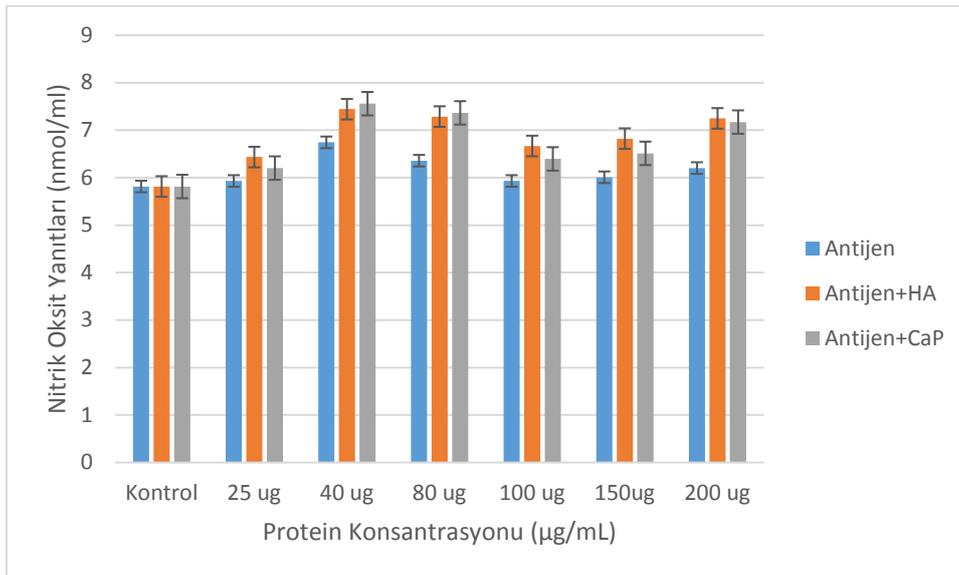
AGS mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan kombinasyonlarının J774 makrofaj hücre kültüründeki immünoestimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin en yüksek immünoestimulan etkinliği 40 µg/ml konsantrasyonda göstermiştir. AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin 40 µg/ml konsantrasyonda makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 6,86 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %94,25 canlılık tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 40 ug/ml HA ve CaP adjuvanlarının antijen ile kombinasyonlarının makrofaj hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği de incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-40 ug/ml HA adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 7,636 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %92,86 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-40 ug/ml CaP adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek etkinlik 7,674 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %92,15 canlılık tespit edilmiştir.



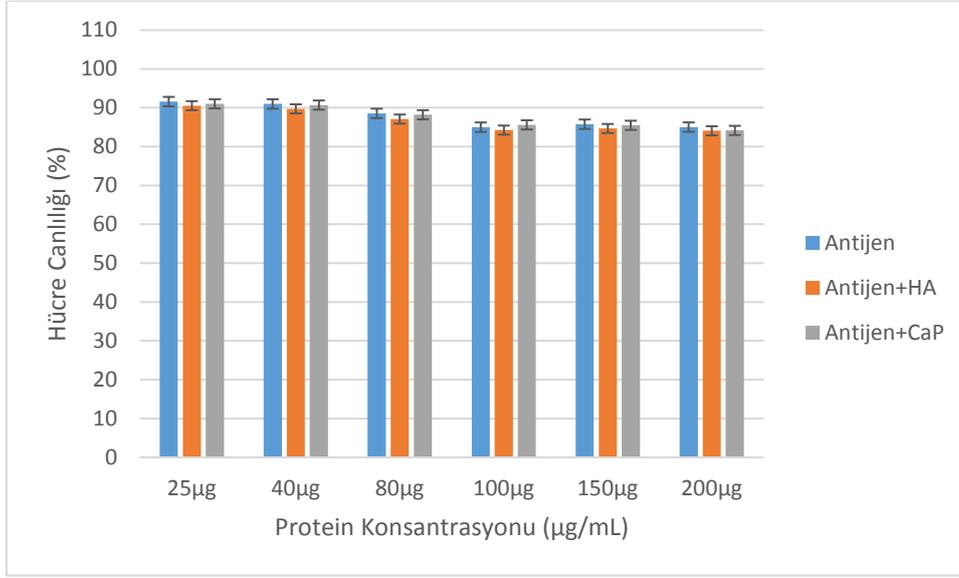


Şekil 4. Antijen ve adjuvan (100 ug/ml) kombinasyonlarının J774 makrofaj hücreleri üzerindeki immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi

AGS mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan kombinasyonlarının J774 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi Şekil 4'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 100 ug/ml HA ve Cap adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-100 ug/ml HA adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,868 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %90,75 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-100 ug/ml CaP adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 6,907 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %91,34 canlılık tespit edilmiştir.

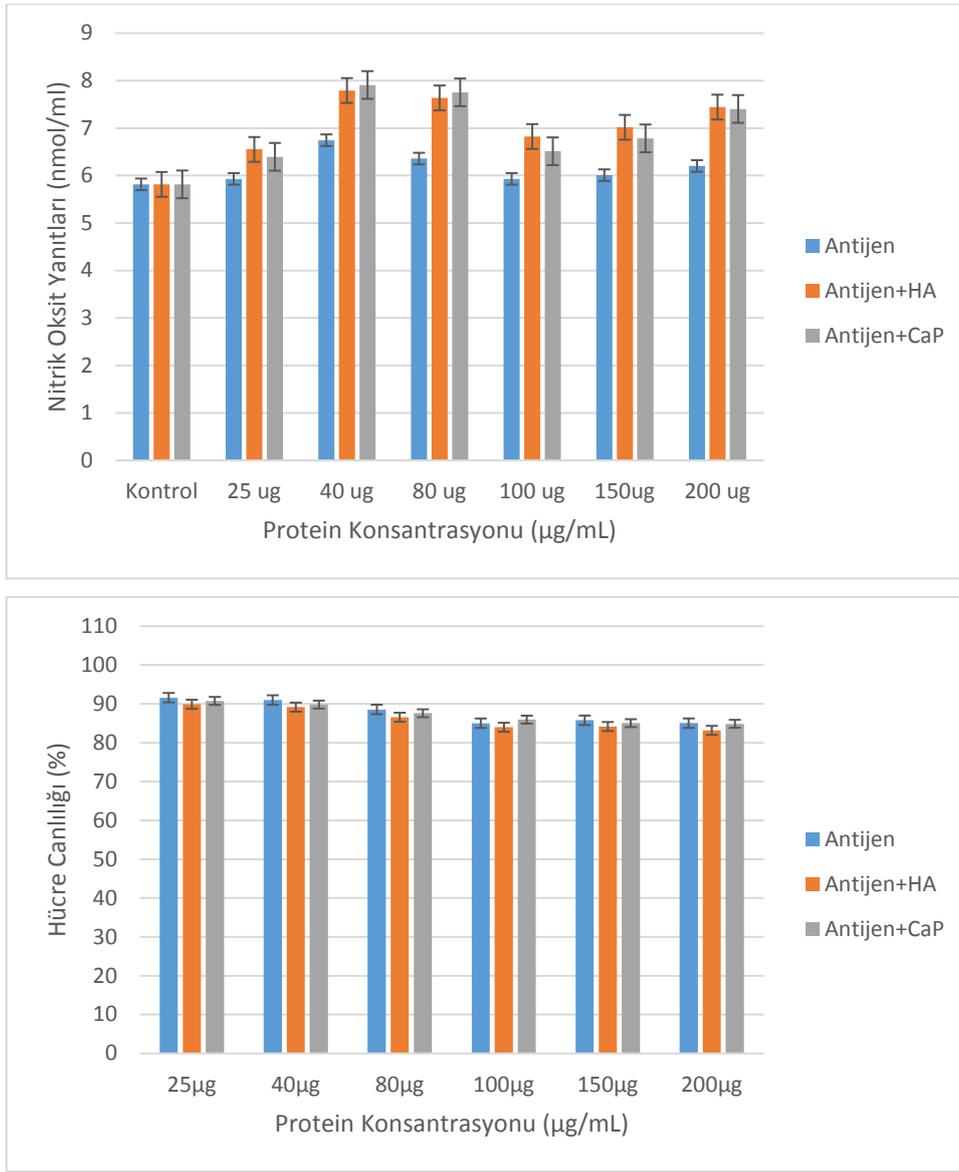






**Şekil 5.** Antijen ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hücreleri üzerindeki immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi

AGS mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan kombinasyonunun THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi Şekil 5'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin, en yüksek immünostimulan etkinliği 40 µg/ml konsantrasyonda göstermiştir. AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin 40 µg/ml konsantrasyonda makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 6,744 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %90,99 canlılık tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 40 ug/ml HA ve CaP adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği de incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-40 ug/ml HA adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,442 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %89,73 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-40 ug/ml CaP adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,558 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %90,71 canlılık tespit edilmiştir.



**Şekil 6.** Antijen ve adjuvan (100 ug/ml) kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hücreleri üzerindeki immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi

AGS mide kanseri hücre hattından otoklavlama yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan kombinasyonunun THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi Şekil 6'da gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 100 ug/ml HA ve CaP adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-100 ug/ml HA adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,791 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %89,14 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-100 ug/ml CaP adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 7,907 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %89,81 canlılık tespit edilmiştir.

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucu oluşmaktadır. Farklı kanser türleri olmakla birlikte mide kanseri, dünyada en sık görülen kanser türlerinden biridir. Cerrahi tedavi, kemoterapi,

radyoterapi, immünoterapi ve hedeflendirilmiş terapiler gibi tedavi yöntemleri mide kanseri tedavisinde kullanılmaktadır. Fakat bu tedavi yöntemleri etkili sonuçlar vermemekte ve yeni tedavi yaklaşımları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bununla birlikte hastalık başlamadan önce bağışıklık oluşturmak hastalığın başlamasını engellemekte ya da daha hızlı bir şekilde tedavilerden yanıt alınmasını sağlamaktadır.

Aşı, hastalıklar için uzun süreli bir çözüm olmaktadır. Aşı çalışması için mide kanserine karşı uzun süreli bağışıklık oluşturabilecek uygun adjuvan gerekmektedir. Kullanılacak uygun adjuvan, mide kanserine karşı güçlü bağışıklık tepkisinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada AGS mide kanseri hücre hattı kullanılarak otoklavlama yöntemiyle hazırlanan antijenlerin tek başına ve HA-CaP adjuvanları kombinasyonu kullanılarak aşı aday geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Literatürde dondurma-çözdürme ve otoklavlama gibi yöntemler kullanılarak aşı formülasyonları hazırlanmıştır. Bu antijen hazırlama yöntemleri sadece kanser aşuları için değil aynı zamanda leishmania gibi farklı organizmalara yönelik aşı çalışmalarında da kullanılmaktadır. Saf antijen kullanılan çalışmalarda nitrik oksit üretimi kontrol gruplarına göre daha düşük olmaktadır. Fakat saf antijenler, adjuvan kombinasyonları ile birlikte kullanıldığında nitrik oksit üretim verimliliği artmaktadır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada mide kanserine karşı aşı formülasyonlarını geliştirmek için mide kanseri hücrelerinden otoklavlama yöntemi ile elde edilmiş antijenler, HA ve CaP adjuvan ile kombine edilmiştir. Formülasyonların, J774 ve THP-1 makrofaj ve L929 fibroblast hücrelerinde immünotümölan aktiviteleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalarda nitrik oksit ve canlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kontrol grubuna göre otoklavlama antijeninin tek başına immünotümölan etkinliğinin az da olsa daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Antijen-adjuvan formülasyonlarının ise kontrol gruplarına göre immünotümölan etkinliğini yüksek oranda arttırdığı belirlenmiştir. Adjuvan grupları arasında ise Kalsiyum fosfat adjuvanının hidroksiapatit adjuvanına göre immünotümölan etkinliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada bu iki adjuvan aday arasında en iyi aşı aday olma potansiyeli olan formülasyonun 40 µg/ml antijen-40 µg/ml CaP adjuvanı kombinasyonu olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında, mide kanserine karşı HA ve CaP ile kombine halde otoklavlanmış mide kanseri antijenlerinin aşı aday olabileceği belirlenmiştir. Bu tür antijen-adjuvan kombinasyonları, koruyucu bağışıklık yetenekleri ile etkili ve ucuz olduğu için mide kanserine karşı aşı aday olarak görülmektedir. Ayrıca bu formülasyonlar ile yapılan in vivo çalışmalardan elde edilecek antikörlerin da mide kanseri tedavisinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Butterfield, L. H. (2015). Cancer vaccines. *BMJ*, 350, 988.
- Guevara, I., Iwanejko, J., Dembińska-Kieć, A., Pankiewicz, J., Wanat, A., Anna, P., and Szczudlik, A. (1998). Determination of nitrite/nitrate in human biological material by the simple Griess reaction. *Clin Chim Acta*, 274(2), 177-188.
- Hausman, D. M. (2019). What Is Cancer? *Perspect Biol Med*, 62(4), 778-784.
- Ihlamur, M., Akgül, B., Abamor, E. S. (2022). Farklı hücre hatlarında besiyeri ve FBS'in hücre proliferasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17, 55-64.
- Ihlamur, M., Başarı, H., Zengin, Y., Abamor, E. S. (2022). Evaluation of immunostimulant/cytotoxic activity of human breast cancer prepared by different antigen preparation methods with adjuvants combination. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17, 96-110.
- Isobe, K., and Nakashima, I. (1993). Nitric oxide production from a macrophage cell line: interaction with autologous and allogeneic lymphocytes. *J Cell Biochem*, 53(3), 198-205.
- Jacquet, D., Boelaert, M., Seaman, J., Rijal, S., Sundar, S., Menten, J., and Magnus, E. (2006). Comparative evaluation of freeze-dried and liquid antigens in the direct agglutination test for serodiagnosis of visceral leishmaniasis. *Trop Med Int Health*, 11(12), 1777-1784.
- Kosari, F., and Ghaffari, F. (2018). The Comparison Between Microwave and Autoclave as Antigen Retrieval Methods for Immunohistochemical Detection of CD15 and CD30 in Hodgkin's Lymphoma. *Iran J Pathol*, 13(4), 390-396.
- Shi, S., Zhu, H., Xia, X., Liang, Z., Ma, X., and Sun, B. (2019). Vaccine adjuvants: Understanding the structure and mechanism of adjuvant activity. *Vaccine*, 37(24), 3167-3178.
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., and Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin*, 71(3), 209-249.
- Urruticoechea, A., Alemany, R., Balart, J., Villanueva, A., Viñals, F., and Capellá, G. (2010). Recent advances in cancer therapy: an overview. *Curr Pharm Des*, 16(1), 3-10.

## Termoplastik Hibrit Kompozitlerde Hammadde Karışım Oranı Optimizasyonu için Gri Kurt Algoritmasının Kullanılması

Tuğrul ÇAVDAR<sup>1\*</sup>, Ercüment ÖZTÜRK<sup>2</sup>

### Öz

Hammadde temininin zor olması ve doğal kaynakların hızla tüketilmesi alternatif bir yöntem olan kompozit üretimine yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle son yıllarda kompozit malzemeler ile ilgili araştırmalarda ve endüstriyel kullanımda artışlar olmuştur. Bunun temel nedenleri hammadde teminindeki zorluklar, maliyet ve zaman faktörüdür. Diğer taraftan kompozitlerin tercih edilme nedenlerinden önemli bir sebep de diğer malzemelere göre mukavemet-yoğunluk oranının daha yüksek olması, daha dayanıklı ve daha hafif olmasıdır. Kompozit malzemelerin homojen yapısı, yüksek kalite ve üretim maliyetlerini kabul edilebilir seviyede tutabilmek için yüksek teknolojiye üretim gerektirir. Kompozit üretim aşamalarında termoplastik ve dolgu takviye karışımları son derece karmaşık işlemlerle uygulanmaktadır. Bu tür formülasyonları optimize etmek çok fazla deneysel üretim gerektirir ancak yüksek maliyetler doğurur. Sonuç olarak, bu yüksek maliyetleri azaltmak ve optimize edilmiş karışım oranları ile üretim yapmak elzemdir. Bu çalışmada çözüm olarak bir yapay zekâ yöntemi olan Gri Kurt optimizasyon algoritması (GWO) kullanılmıştır. GWO algoritması ile optimum üretim reçetelerinin ve üretim proses parametrelerinin elde edilebildiği gözlemlenmiştir. Hibrit termoplastik kompozitlerin üretilebilmesi için olası tüm karışımlardaki hammadde oranları simülasyon ortamında hazırlanarak en iyi çözümü bulmaya dayalı bir yaklaşımla problem çözülmeye çalışılmış, deneysel kullanım için çok sayıda üretime gerek kalmadan istenilen kalitede ürün üretilmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Termoplastik kompozitler, yapay zekâ, optimizasyon, sürü zekâsı, gri kurt algoritması.

## Using Gray Wolf Algorithm for Raw Material Mix Ratio Optimization in Thermoplastic Hybrid Composites

### Abstract

Difficulty in raw material supply and rapid consumption of natural resources have made it necessary to turn to composite production, which is an alternative method. Accordingly, there has been an increase in research and industrial use of composite materials in recent years. The main reasons for this are the difficulties in obtaining raw materials, the cost and time factor. On the other hand, another important reason why composites are preferred is that they have a higher strength-density ratio than other materials, they are more durable and lighter. Composite materials require high technology production in order to keep homogeneous structure, high quality, and production costs at an acceptable level. In the composite production stages, thermoplastic and filler reinforcement mixtures are applied with extremely complex processes. Optimizing such formulations requires a lot of experimental production but incurs high costs. As a result, it is essential to reduce these high costs and produce with optimized mixing ratios. In this study, the Gray Wolf Optimization algorithm (GWO), an artificial intelligence method was used as a solution. It has been observed that optimum production recipes and production process parameters can be obtained with the GWO algorithm. In order to produce hybrid thermoplastic composites, the raw material ratios in all possible mixtures were prepared in a simulation environment and the problem was tried to be solved with an approach based on finding the best solution, and it was aimed to produce the desired quality product for experimental use without the need for a large number of productions.

**Keywords:** Thermoplastic composites, artificial intelligence, optimization, swarm intelligence, Grey Wolf algorithm.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, ulduz@ktu.edu.tr

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, zercux@gmail.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3656-9592>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-9623-6955>

## 1. Giriş

Kompozit malzemeler, hemen hemen her endüstriye bir biçimde girmiştir. Kompozitlerde elde edilen çok çeşitli özellik değerleri ve özellikleri uyarlama yeteneği bir avantajdır. Kompozit malzemeler ayrıca genellikle geleneksel mühendislik malzemelerine göre daha yüksek mukavemet ve modül-ağırlık oranlarına sahiptir. Bu özellikler, bir sistemin ağırlığını %20 ila %30'a kadar azaltabilir. Ağırlık tasarrufu, enerji tasarrufu veya artan performans anlamına gelir. Gelişmiş kompozitler arzu edilen dinamik özellikler sergiler ve yüksek sürünme direncine ve iyi sönümleme özelliklerine sahiptir. Ayrıca, kompozit malzemeler hemen hemen her şekilde üretilebildiğinden, büyük tasarım esnekliğine izin verir ve ürünler için azaltılmış parça sayısı sunar. Bileşenleri seçme, istenen özellikleri elde edecek şekilde uyarlama ve daha sonra tasarım yoluyla özelliklerin optimum kullanımını sağlama fırsatı, kompozitleri birçok endüstri için çok çekici kılan bir durumdur. Ulaştırma endüstrisi, kompozit malzemelerden geniş ölçüde yararlanmıştır. Hafifliği, yüksek mukavemeti ve aerodinamik şekillerin kolaylıkla üretilebilmesi, yakıt maliyetlerinin düşmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, kompozitler, binaların tasarımına ve inşasına yeni boyutlar eklemiştir. Üretim kolaylığı, hafifliği, yüksek mukavemeti, düşük bakım ihtiyacı, dekoratifliği ve işlevselliği endüstri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yapıların inşa süresi kısaltılmış ve yapıların tasarımına daha fazla esneklik eklenmiştir (Meyers, 2002). Kompozitler, geleneksel malzemeleri devrim niteliğinde bir hızla değiştirerek spor malzemeleri endüstrisinde de büyük etki yaratmıştır. Çoğu durumda, materyaldeki değişiklik, katılımcılar için performans veya güvenlikte bir iyileşmeye dönüşmüştür. Daha güçlü, daha sert ve daha hafif yapılara duyulan ihtiyaç, kompozit malzemelerin daha yaygın olarak kullanılan malzemelere göre üstünlüklerini göstermeleri için bir fırsat haline gelmiştir. Dayanıklılık ve düşük bakım maliyeti kullanılabilirlik ömrünü uzatmakla birlikte sistemlerin bakım maliyetini de düşürür. Yenilerin geliştirilmesi ve mevcut üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, üretim maliyetinde bir düşüşe neden olmaktadır. Kalıplama ve kompozit malzemeler kullanılarak bazı bileşenleri oluşturmak için gereken parça sayısında azalmalar olmuştur. Kompozitlerin benzersiz özellikleri, tasarımcıların yalnızca kompozit malzemelerden yapılabilecek gelişmiş sistemleri formüle etmelerini sağlamıştır. Kompozitlerin kullanımı arttıkça, bileşen malzemeleri, analiz, tasarım ve imalat alanlarında daha fazla gelişme gerçekleşecektir. Kompozit malzemeler, uyarlanabilirlik, tasarım esnekliği ve düşük çevre etkisi ile düşük maliyetli işleme için muazzam özellikler sunar. Bu özellikleriyle kompozitler çok parlak bir gelecek yaratacaktır (Meyers, 2002).

Kompozit malzemeler antik çağlardan beri üretilmekte ve kullanılmaktadır. Çeşitli gereksinim ve amaçlar neticesinde birbirinden farklı tipte kompozit üretilmiş ve kullanılmıştır. Bilhassa mühendislik, savunma, uzay ve imalat endüstrilerindeki uygulamalar için farklı kompozit malzemeler

oluşturulmuştur (URL-1). Kompozit malzemeler, mevcut malzeme veya bileşenlerde bulunmayan veya kısıtlanmış nitelikleri geliştirmek için oluşturulur. Birbirlerinde çözünmeyen ve çeşitli fiziksel, kimyasal ve termal özelliklere sahip en az iki bileşenden oluşurlar. Özetle, nihai kompozitin orijinal bileşenlerden daha farklı niteliklere sahip karışımlardır. Kompozitin bileşenleri arasında kimyasal bağ yoktur yani aralarında atomik bileşik oluşturmazlar (URL-2). Matris(kompozit içerisindeki lifleri destekleyip bir arada tutan ana yapı), kompozit yapıya uygulanan kuvveti taşır ve bunu liflere aktarır. Matris ayrıca liflerin eskisi gibi aynı sırada kalmasını ve mevcut konumlarını korumasını sağlar.

Son yıllara kadar kompozit ürünlerde çoğunlukla tek matris ve tek takviye (katkı) malzemesi kullanımı söz konusuydu. Ancak kompozit malzemenin kullanıldığı sektörlerin ihtiyaç duyduğu özelliklerdeki farklılaşma ve çevresel faktörler, yeni ürün tasarımlarında tek matris ve tek takviye elemanı yerine çok bileşenli katkılı / güçlendiricili “hibrit kompozitler” üretilmesini daha avantajlı hale getirmiştir. Ancak hibrit kompozit ürün geliştirme sürecinde deneysel çalışma aşamaları çok büyük maliyetlere neden olmakta ve kompozit üretimini ekonomik anlamda olumsuz etkilemektedir. Kompozitler, hemen hemen istenen tüm nitelikleri sağladıkları için endüstride kullanılan yegâne malzeme grubu olarak kabul edilmektedir. Teknolojik gelişmeler arttıkça giderek daha popüler hale gelen kompozitler üzerinde birçok ülkede araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Kompozitlerin daha dayanıklı ve geleneksel malzemelerden daha hafif olmaları tercih edilme nedenlerindedir. Ancak, üretim maliyetlerini düşük tutarken tutarlı ve kaliteli bir ürün elde edebilmek için yüksek teknoloji prosedürler gereklidir. Kompozit imalatının birincil amacı, tek bir malzeme ile elde edilmesi mümkün olmayan mukavemet, tokluk, elektriksel iletkenlik, yoğunluk, ağırlık, ısıl genleşme, mukavemet ve kırılma/kopma direnci gibi nitelikleri geliştirmektir (Balasubramanian, 2013), (Matthews ve Rawlings, 1999), (Zor, 2021). Kompozit malzemelerin keşfi ve geliştirilmesine, gelişen teknoloji ve sanayileşmeden kaynaklanan malzeme gereksinimleri yardımcı olmaktadır (URL-3).

Savunma, inşaat, otomotiv, robotik ve enerji gibi çeşitli uygulamalarda kullanılan, istenen niteliklerde kompozitler üretmek için çok sayıda yöntem vardır (Kirenci, 2021). Bu yöntemlerden biri veya birkaçı sonucunda oluşturulan kompozitler üzerinde çeşitli testler yapılır ve bu testlerden dolayı kompozitin kalitesi belirlenir. Kompozit kalitesinin belirlenebilmesi için eğilme dayanımı, çekme dayanımı, darbe dayanımı, DMTA (Dinamik Mekanik Termal Analiz), DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analizi), TGA(Termogravimetrik Analiz) ve termal testlere tabi tutulur. Tüm bu testler, her imalattan sonra gerçekleştirilmekte ve bu da her bir deneyin maliyetinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Ancak, daha önce kompozitler üzerinde gerçekleştirilmiş testlerden toplanan verilerle birlikte yapay zekâ kullanılarak hammadde katkı oranlarının optimize edilmesi, önemli bir zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Yüksek maliyet, deneysel araştırmalar için gereken uzun zaman dilimleri ve bireysel deneyime bağlı nihai ürünün kalitesi gibi parametrelerin

iyileştirilebilmesi için kompozit üretiminde teknolojik yaklaşımlardan yararlanmayı gerektirmektedir. Bu noktada yapay zekâ optimizasyon teknikleri iyi bir çözüm olmaktadır. Yapay zekâ optimizasyon tekniklerinden olan GWO algoritmasının kullanım kolaylığı, uyarlanabilirliği ve hızlı sonuç üretebilmesi nedeniyle termoplastik hibrit kompozit üretiminde kullanılması planlanmıştır. Nitekim GWO algoritmasındaki sürü yapısının kompozit üretimi süreciyle benzerlikler göstermesi algoritmanın hızlı sonuç vereceğinin bir göstergesidir. Üretim öncesi yapay zekâ teknolojisi kullanılarak sürecin simüle edilmesi maliyet ve zamanı düşürmekle birlikte son ürün kalitesini de arttıracığı yapılan çalışmalar neticesinde gösterilmiştir (Dönmez Çavdar ve diğerleri, 2018).

Bilgi teknolojisi ve kompozitler sayısız araştırmanın konusu olmuştur. Bu bağlamda, Chen ve diğerleri (Chen ve diğerleri, 2022) titreşim yorgunluğu sırasında Karbon Takviyeli Fiber Plastik (CRFP) bileşenlerinin yayılma hasarını izlemek için yapay zekâ teknolojisini temel alan varsayımsal bir yaklaşım sunmuşlardır. Makine öğrenmesi (Machine Learning - ML) termoplastik kompozitlerin üretiminde karar verme yardımcıları olabileceği vurgulanmıştır (Islam ve diğerleri, 2022). Bununla birlikte, hasar tespitinin yapılması için makine öğrenmesi (Bao ve diğerleri, 2022) kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ayrıca, yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks - ANN) gibi yapay zekâ teknolojilerinin de kullanılabilirliği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Shirmohammadi ve diğerleri, 2021). Yapay zekâ teknolojisi sayesinde, deniz ulaşım ve araştırma çalışmalarında kompozit (hafif fiber takviyeli plastik) teknolojileri çeliğin alternatifi olarak ortaya çıkmaktadır (Hastie ve diğerleri, 2019), (Xia ve diğerleri, 2021). Son yıllarda artan çevresel sorunlar ve kaynaklara olan hızlı talep artışı, kaynakların daha verimli kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu süreç “çevre dostu” kavramının önemini arttırmıştır. Çevre dostu ürünlerin kullanılmasının nedenlerinden biri de şüphesiz maksimum verimlilik ve minimum atık oluşturmaktır (Trost, 2002). Hammadde katkı oranlarını belirlemek sürecin en başından kontrol altına alınmasını sağlayacağından zaman ve maliyetten tasarruf etmek için algoritmik yapay zekâ yaklaşımlarını kullanmak iyi bir çözüm olacaktır. Bu çalışmada GWO algoritması kullanılarak üretim öncesi hammadde karışım oranlarının belirlenmesi, böylece kalitenin artırılması, zaman ve maliyet kazanımı amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hammadde katkı oranlarını belirlemek için gri kurtların davranışlarından ilham alınarak geliştirilmiş, saldırı ve hayatta kalma algoritması olan GWO algoritması kullanılmış ve yeni bir üretim reçetesi (karışım oranlarını gösteren formül) oluşturulmuştur. Elde edilen üretim reçetesi Yusufçuk algoritması (Dragonfly Algorithm - DA) sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların başarılı olduğu gözlemlenmiştir (Öztürk ve diğerleri, 2021).

Bu çalışmada, hammadde katkı oranlarının belirlenmesiyle deneysel çalışma maliyetlerinin düşürülmesi ve zaman tasarrufunun sağlanabilmesi için sürü zekasına dayanan GWO algoritması kullanılmıştır.



## 2. Materyal ve Metot

Yapay zekâ, programlanabilir makinelerde bulunan ve insan zekasını taklit eden yazılımlardır. Başka bir ifadeyle biyolojik zekanın kodlanmış/programlanmış halidir. Sensörler, kamera veya mikrofon gibi çeşitli girdi arabirimleri aracılığıyla çevreyi algılar ve belirlenen amaç veya hedeflerine başarılı bir biçimde ulaşmayı sağlar. İnsan-bilgisayar etkileşimi bakımından değerlendirildiğinde yapay zekânın insan zihni ile ilişkili olan öğrenme ve problem çözme gibi bilişsel işlevleri taklit ettiği ve giderek daha da yetenekli bir hale geldiği bilinen bir fenomen halini almıştır. Bununla birlikte, insan zekâsına özgü algılama, öğrenme, çoğul kavramları bağlama, düşünme, fikir yürütme, sorun çözme, iletişim kurma, düşüncelerinden tepkiler üretebilme, bu tepkileri fiziksel olarak dışa vurabilme, çıkarım yapma ve karar verme gibi yüksek bilişsel fonksiyonları veya otonom davranışlar sergilemesi beklenen bir bilgisayar yazılımıdır.

Günümüzde, endüstriyel alanlarda kullanılan ve istenen hemen hemen tüm özellikleri sağlayan yegâne malzeme grubunun kompozitler olduğu bilinmektedir. Daha kaliteli ve düşük maliyetli kompozitlerin üretilmesi için yapay zekâ teknolojilerinden dahası bilişim teknolojilerinden yararlanmak kaçınılmazdır. Bu anlamda, bu çalışmada sürü zekasına dayalı ve kurtların sosyal davranışlarından esinlenilerek Mirjalili (Mirjalili ve diğerleri, 2014) tarafından önerilmiş bir yapay zekâ optimizasyon algoritması olan GWO kullanılarak hammadde katkı oranlarının belirlenmesi üzerine çalışılmıştır (Öztürk ve diğerleri, 2021).

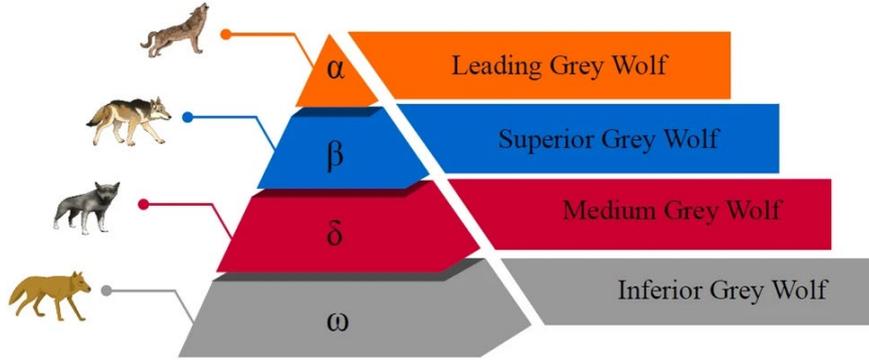
### 2.1. Optimizasyon

Optimizasyon, mühendislik tasarımından ekonomiye ve tatil planlamasından internet yönlendirmesine kadar her yerdedir. Para, kaynaklar ve zaman her zaman sınırlı olduğundan, bu mevcut kaynakların optimal kullanımı çok önemlidir. Optimizasyon, "en iyisini veya çoğunu yapmak" anlamında kullanılan bir kelime olan optimize kelimesinden türetilmiştir. Temel uygulamalarda optimizasyon, bir şeyi olabildiğince iyi yapma eylemi veya sürecini ifade eder. "Ağ optimizasyonu" ve "arama motoru optimizasyonu" (SEO) gibi mümkün olan en iyi işlevselliği elde etmekle ilgili teknik bağlamlarda çok fazla kullanımı da bulunmaktadır. Optimizasyon ya da eniyileme işleminin gerçekleştirilebilmesi bakımından çok sayıda sezgisel algoritmik yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan biri de GWO algoritmasıdır (URL-4).

Sezgisel algoritmalar, bir optimizasyon problemine yeterince iyi bir çözüm sağlayabilecek bir yöntemi bulmayı, üretmeyi veya seçmeyi amaçlayan daha üst düzey bir prosedür veya buluşsal yöntemdir. Özellikle eksik veya kusurlu bilgiler mevcut olduğunda veya sınırlı hesaplama kapasitesi olduğunda kullanılırlar Meta buluşsal yöntemler, çözülmekte olan optimizasyon problemi hakkında

nispeten az varsayımda bulunur ve bu nedenle çeşitli problemler için kullanılabilirler. Optimizasyon algoritmaları ile oluşturulan çözümler güvenilirdir. Bunun kanıtı, optimize edilmiş hizmetlerin sunumunda farklı alanlarda %20 maliyet tasarrufunun ölçüldüğü gerçeğidir (URL-5). Bu nedenle, her alanda olduğu gibi kompozit alanında da optimizasyonunu benimsemenin akıllıca bir hareket olduğu açıktır.

## 2.2. Gri Kurt (Gray Wolf) Algoritması



Şekil 1. Kurt sürüsündeki hiyerarşi (Qiu ve diğerleri, 2021).

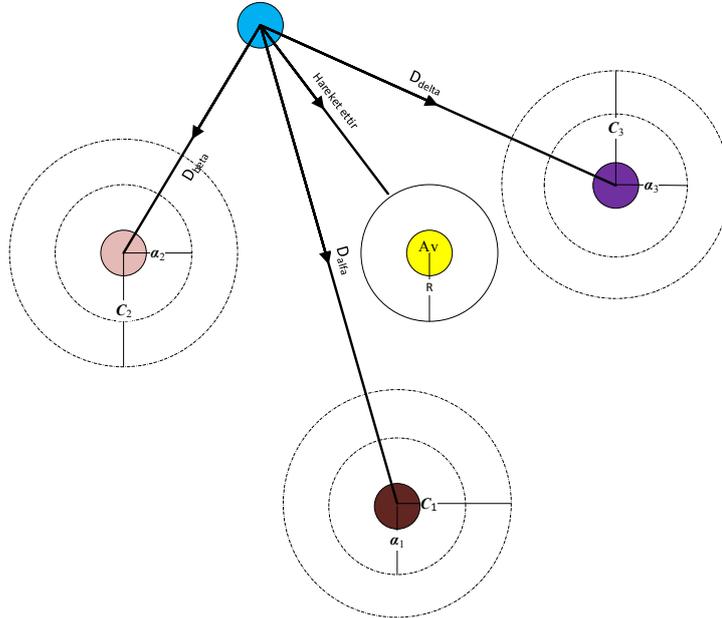
Gri kurt veya bozkurt apeks yırtıcıları olarak kabul edilen, yani besin zincirinin en üstünde yer alan canlılardır. Çoğunlukla 5-10 bireylik sürüler halinde yaşamayı tercih ederler. Yoğun sosyal baskının görüldüğü bir hiyerarşiye sahiptirler. Sürü liderleri, alfa ( $\alpha$ ) denilen bir erkek ve/veya bir dişidir. Alfa ( $\alpha$ ) çoğunlukla avlanma, uyuma yeri, uyanma zamanı gibi konularda karar vermekten sorumludur. Alfa'nın kararları sürüye dikte edilir. Alfa, emirlerine sürü tarafından uyulması gerektiğinden baskın kurt olarak da adlandırılır (Mech, 1999). Alfa sürünün en güçlü üyesi değil, sürüyü yönetme açısından en iyisidir. Bu, bir sürünün organizasyonu ve disiplininin, gücünden çok daha önemli olduğunu gösterir. Gri kurtların hiyerarşisindeki ikinci seviye betadır. Betalar ( $\beta$ ), karar vermede veya diğer faaliyetlerde alfaya yardımcı olan bağımlı kurtlardır. Beta kurt erkek veya dişi olabilir ve alfa kurtlarından birinin ölmesi veya çok yaşlanması durumunda muhtemelen alfa olmak için en iyi adaydır. Beta ( $\beta$ ) diğer alt düzey kurtlara da komuta eder. Beta ( $\beta$ ), alfa'nın ( $\alpha$ ) komutlarını güçlendirir ve alfaya geri bildirimde bulunur. En düşük dereceli gri kurt omegadır ( $\omega$ ). Bir kurt alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) veya omega ( $\omega$ ) değilse ast veya delta ( $\delta$ ) denir. Delta ( $\delta$ ) kurtları alfalara ve betalara boyun eğmek zorundadır, ancak omegaya hükmederler (Mirjalili ve diğerleri, 2014), (Karakaş ve Yüzgeç, 2019). İziciler, nöbetçiler, yaşlılar, avcılar ve bakıcılar bu kategoriye girer. Şekil 1'de gri kurt topluluk hiyerarşisi gösterilmiştir. Kurtların grup halinde avlanma biçimi şu şekildedir (Muro ve diğerleri, 2011);

- Avı takip et, kovala ve yaklaş

- Avı hareket etmeyi durdurana kadar takip et, çevrele ve taciz et
- Ava doğru saldırıya geç

Gri kurtların sürü halindeki avlanma stratejisi şekil 2’de gösterilmiştir. GWO kullanılırken kurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için en uygun çözüm *alfa* ( $\alpha$ ) olarak kabul edilir. İkinci ve üçüncü en iyi çözümler sırasıyla , *beta* ( $\beta$ ) ve *delta* ( $\delta$ ) olarak adlandırılır. Aday çözümlerin geri kalanının *omega* ( $\omega$ ) olduğu varsayılır. GWO algoritmasında arama (optimizasyon) *alfa* ( $\alpha$ ), *beta* ( $\beta$ ) ve *delta* ( $\delta$ ) tarafından yönlendirilir. *Omega* ( $\omega$ ) kurtları bu üç kurdu takip eder (Mirjalili, 2015).

GWO'yu tasarlamak ve optimizasyon gerçekleştirmek için bu avlanma tekniği ve gri kurtların sosyal hiyerarşisi matematiksel olarak modellenerek optimizasyon işlemleri gerçekleştirilir. Bu noktada simülasyonlarda kullanılacak olan her bir değer GWO algoritmasındaki karşılığının net bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, her bir hammaddenin en iyi karışım oranı alfa olarak kabul edilir ve olası diğer çözümler ise beta olarak kabul edilir. Sanal bir av etrafında doğru oranı bulmak için kurtların konum değiştirme hareketlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca konum değiştirme işlemleri sırasında vektörel konum değiştirme işlemi yerine yarıya bölme (bisection) yönteminden yararlanılarak daha detaylı bir arama ve olası en iyi oranın bulunması için simülasyonlar çalıştırılmıştır.

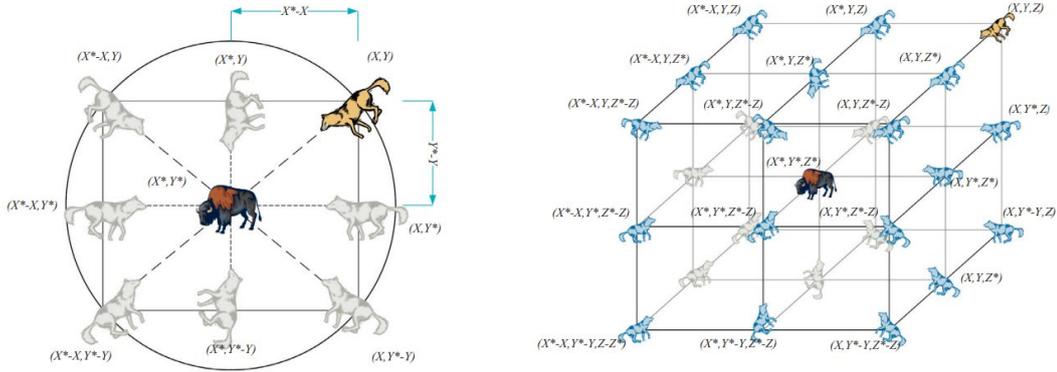


Şekil 2. Kurtların avlanma stratejisi (Mirjalili ve diğerleri, 2014).

### 2.2.1. Avın Kuşatılması

Kurtlar av boyunca avı kuşatırlar. Şekil 3’te iki ve üç boyutlu pozisyon vektörü ve olası komşuların bazıları gösterilmektedir. (X,Y) pozisyonundaki gri bir kurt, avının konumuna göre konumunu değiştirebilir ( $X^*, Y^*$ ). Avın konumuna göre konumlarını güncelleyen kurtlar avın istenen

herhangi bir pozisyona ulaşmasına izin verir. Böylece gri bir kurt, şekil 3'te gösterildiği üzere sürüdeki bir kurt avı hareket ettirir. Bu noktada kurtlar rastgele bir yerde bulunan avın çevresindeki boşluğa bağlı olarak konumunu günceller.



Şekil 3. Kurtların avlanma stratejisinde konum güncellemesi (Mirjalili ve diğerleri, 2014).

### 2.2.2. Avlanma

Gri kurtlar, avın konumu ve etrafını kuşatma yeteneğine sahiptir.  $\alpha$ , avı yönetirken  $\beta$  ve  $\delta$  da avlanmaya katılırlar. Ancak av yani arama uzayındaki optimum sonuç hakkında herhangi bir fikirleri yoktur. Bu durumu matematiksel olarak ifade edebilmek için,  $\alpha$  (en iyi aday çözüm),  $\beta$  ve  $\delta$ 'nın avın potansiyel konumu hakkında bilgiye sahip olduğu varsayılır. Bu nedenle, elde edilen ilk üç en iyi çözüm kaydedilir ve diğer arama ajanlarının ( $\omega$ 'lar dahil) konumları en iyi arama ajanlarının konumuna göre güncellenir. Avın etrafı kuşatıldıktan sonra denklem (1) ve denklem (2)'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\vec{D} = |\vec{C} * \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (1)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} * \vec{D} \quad (2)$$

$t$ : mevcut iterasyonu,

$\vec{A}, \vec{C}$ : Katsayı vektörlerini,

$\vec{X}_p$ : Avın konum vektörünü,

$\vec{X}$ : Bir kurdun konum vektörünü temsil etmektedir.

$\vec{A}, \vec{C}$  Katsayı vektörleri denkle (3) ve denklem (4)'e göre hesaplanır;

$$\vec{A} = 2\vec{a} * \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3)$$

$$\vec{C} = 2 * \vec{r}_2 \quad (4)$$

$\vec{a}$ 'nın bileşenleri iterasyonlar boyunca 2'den 0'a doğrusal olarak düşürülür ve  $\vec{r}_1, \vec{r}_2$  [0, 1] aralığındaki rastgele vektörlerdir. Gri kurtlar çoğunlukla  $\alpha, \beta$  ve  $\delta$ 'nin konumuna göre arama yapar. Av aramak için birbirlerinden ayrılırlar ve saldırı avına yakınlaşırlar. Sapmayı matematiksel olarak modellemek için, arama ajanını avdan ayrılmaya zorlamak için 1'den büyük veya -1'den küçük rastgele değerlerle  $\vec{A}$  kullanılır. Bu, keşfi vurgular ve GWO algoritmasının küresel olarak arama yapmasına izin verir. Bu çalışmada, bu aşamadaki arama işlemi için tek bilinmeyenli bir denklemin köklerini bulmak için kullanılan bir yöntem olan yarıya bölme (bisection) yöntemi kullanılmıştır. Bunun temel nedeni karışıma dahil edilecek olan hammaddelerin karışım oranlarının yüksek doğrulukla hesaplanabilmesidir.

### 2.3. Yarıya Bölme (Bisection) Yöntemi

Bir polinom denkleminin köklerini bulmak için ikiye bölme yöntemi kullanılır. Çözüm aralığına bakılarak alt ve üst sınırlar kullanılarak asıl değer bulunur (URL-6). Bu çalışmada, alt ve üst sınırlar her bir hammadde için ayrı ayrı karışım oranlarının standart sapmaları kadar alt ve üst değerler limit olarak belirlenmiş ve yarıya bölme yöntemi (URL-7) yardımıyla oranlar hesaplanmıştır. Bu aşamada dikkat edilen hususlardan biri de hata oranının ve maksimum iterasyon sayısının başlangıçta belirlenmesidir. İterasyon ile ilgili hesaplamalar denklem (5)'e göre yapılmıştır.

$$\ln((X_{üst} - X_{alt})/\tau)/\ln(2) - 1 \quad (5)$$

$X_{alt,üst}$ : Alt sınırı temsil etmektedir. Simülasyon çalışmalarında alt ve üst sınırlar ilgili hammaddeye ait standart sapmanın değeri alınmıştır.

$\tau$ : Yaklaşık hata değerini temsil etmektedir. Her bir hammadde karışım oranının hesaplanabilmesi için bileşenler ayrı ayrı aşağıdaki algoritmaya göre değerlendirilir.

1. Kök (hammadde karışım oranı) içeren  $[X_{alt}, X_{üst}]$  ve  $\tau$  değerini belirle.
2.  $X_{yeni} = (X_{alt} + X_{üst})/2$
3.  $f(X_{yeni}) * f(X_{alt}) < 0$  ise  $X_{üst} = X_{yeni} \rightarrow$  Adım 4'e git.
4. Eğer  $f(X_{yeni}) * f(X_{alt}) > 0$  ise  $X_{alt} = X_{yeni} \rightarrow$  Adım 5'e git.
5.  $f(X_{alt}) * f(X_{yeni}) = 0$  veya  $abs(f(X_{alt}) - f(X_{yeni})) < \tau \rightarrow$  Sonucu döndür ve bitir  
değilse 1. adıma git

Simülasyon çalışmalarında kullanılan GWO algoritmasının kaba kodu (psuedocode) şekil 4'te verilmiş olup  $f(x)$  fonksiyonundaki işlemler bu adımlardaki gibi yapılmıştır.

```

Kurtların pozisyonlarını başlat;
Kurtların maliyet değerlerini hesapla;
En iyi olanı alfa, ikinciye beta, üçüncüyü delta kurt olarak kaydet ;
while(iterasyon sayısı < maksimum iterasyon sayısı)
     $\vec{a}$  yı azalt
    for (her kurt için)
        Alfa, beta, delta katsayı vektörlerini oluştur
        Mesafe vektörlerini hesapla
        Deneme vektörlerini hesapla
        Konumu güncelle
    end for
    Güncellenen kurtların maliyet değerlerini hesaplayın
    for (her kurt için)
        if (gri kurt < alfa)
            alfa'yı güncelle
        else if (gri kurt < beta)
            beta'yı güncelle
        else if (gri kurt < delta)
            delta'yı güncelle
        end if
    end for
    Seçilenlerin durumunu güncelle
    İterasyonu bir artır
end while
alpha değerini döndür

```

**Şekil 4.** GWO algoritmasının kaba kodu.

Simülasyon çalışmalarında GWO algoritmasında her bir av olası bir çözümü yani kompoziti temsil etmektedir. Bununla birlikte her bir kurt karışıma dahil edilecek hammaddelerin oranlarını temsil etmektedir. En iyi ürünün elde edilebilmesi için optimum karışım oranının bulunması gerekir. Bu nedenle her bir alfa ( $\alpha$ ) istenen karışım oranını temsil eder. Özetle simülasyonlar boyunca alfalardan oluşan bir dizi elde edilmeye çalışılmış ve bu alfa değerlerinden bir karışım reçetesi oluşturulmuştur.

### 3. Sonuçlar ve Öneriler

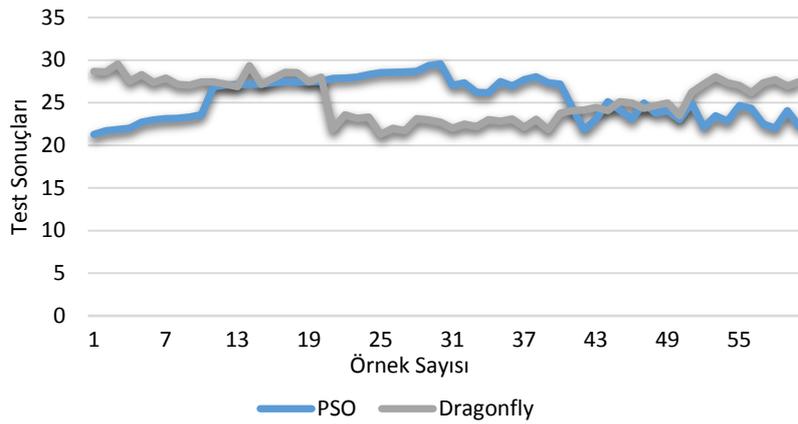
Sürekli iyileştirme çalışmalarında değişkenleri ve değişkenliği tanımlamak ve kontrol etmek önemlidir. Bununla birlikte, son zamanlarda çevre kirliliğini azaltacak, kıt kaynakları etkin kullanacak ve ekolojik dengeyi bozmayacak doğal malzemelerin farkındalığı artmıştır. Çavdar ve diğerleri tarafından 1200339 numaralı TUBİTAK 1002 projesi kapsamında Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması (PSO) ile yapılan optimizasyon çalışmaları neticesinde üretim maliyetinin büyük oranda düştüğü ve dolaylı olarak üretim ve katma değer açısından ekonomiye katkı sağladığı kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, sürü zekâsı yaklaşımlarının diğer disiplinlere uyum sağlama açısından oldukça kullanışlı olduğu ve deneysel çalışma süresini minimuma indirdiği

gözlemlenmiştir. Üretilen kompozitlerin kendine has mekanik özellikleri, hafifliği ve yakıt tüketimini azaltma avantajları açısından otomotiv endüstrisinde kaput altı uygulamalarda kullanılabileceği düşünülmektedir. Simülasyon ortamında karışım oranları belirlendikten sonra laboratuvar ortamında bu oranlarla kompozit ürünler üretilmiş ve test edilmiştir. Elde edilen veriler simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda istenilen özelliklerde kompozit ürünün elde edilebilmesi için yöntemin başarı oranının %95'in üzerinde olduğu gösterilmiştir (Dönmez Çavdar ve diğerleri, 2021).

**Tablo 1.** GWO, PSO ve DA algoritmalarıyla elde edilen hammadde karışım oranları reçeteleri.

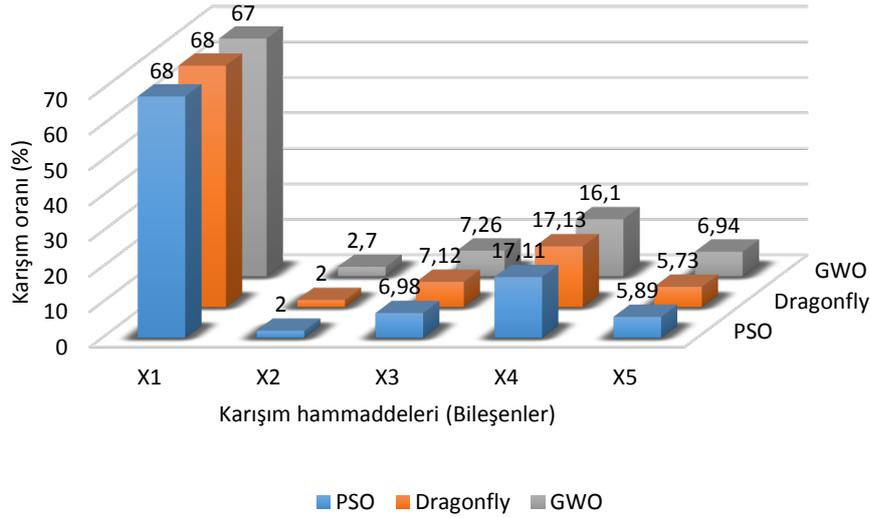
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	Total
<b>2.Reçete (PSO)</b>	68	2	6,98	17,11	5,89	100
<b>2.Reçete (DA)</b>	68	2	7.12	17.130	5.73	100
<b>3.Reçete(GWO)</b>	67	2,7	7,26	16,1	6,94	100

Simülasyon ortamında karışım oranları değerlendirilerek optimum değerlerin elde edilmesi, deneysel üretim maliyeti düşük ve amaca uygun kalitede kompozit üretime olanak sağlamıştır. Daha sonra Yusufçuk algoritması kullanılarak yeni bir reçete elde edilmiş ve son olarak GWO algoritmasıyla elde edilen optimum üretim reçeteleri Tablo 1’de verilmiştir. Karışım oranlarının birbirine olan yakınlığı bu yöntemlerin bu alanda kullanılabileceğini ve yüksek doğrulukla sonuç üretebileceğini de göstermiştir. PSO ve Yusufçuk algoritmalarının sonuç grafiği Şekil 5’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** PSO ve Yusufçuk algoritmalarının uygulama test sonuçları (Öztürk ve diğerleri, 2021).

Şekil 5’te dikey eksen üretilen denekler üzerinde gerçekleştirilen tüm fiziksel test (çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü) sonuçlarının kümülatif toplamlarının normalizasyon sonucunu, yata eksen ise grupların test edilen örnek sayılarını göstermektedir.



Şekil 6. PSO, Yusufçuk ve GWO algoritmalarıyla bulunan aynı kompozite ait hammadde karışım oranları.

Kompozit üretiminde PSO ile üretim maliyetinin büyük oranda düşürülmesi, optimizasyon algoritmalarının bu alanda kullanılabilirliğini göstermektedir. Bununla birlikte üretilen kompozitlerin kalitesinin yüksek olmasını sağlaması katma değer bakımından son derece önemlidir. Ayrıca, kullanılan GWO yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırılması yöntemin başarısının diğer yöntemlere son derece yakın olduğunu göstermiştir. Son olarak, farklı disiplinlere de uyarlanabilirliği bakımından kullanılabilirliği çok yüksek olup deneysel çalışma sürelerini minimuma indirgeyeceği düşünülmektedir.

GWO ile elde edilen değerler, daha önce PSO ve Dragonfly algoritmaları kullanarak üretimleri gerçekleştirilen ve laboratuvar ortamında test edilen ürünlerin reel sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



**Kaynaklar**

- Balasubramanian, M. (2013). *Composite Materials and Processing*. Florida: CRC Press.
- Bao, X., Wang, Z., Fu, D., Shi, C., Iglesias, G., Cui, H., & Sun, Z. (2022). *Machine learning methods for damage detection of thermoplastic composite pipes under noise conditions*. Ocean Engineering, 110817248.
- Chen, Z., Peng, S.-H., Meng, Y., Wang, R.-Y., Fu, Q., & Chen, T. (2022). *Composite components damage tracking and dynamic structural behaviour with AI algorithm*. Steel and Composite Structures, 42(2), 151-159.
- Dönmez Çavdar, A., Mengeloğlu, F., Çavdar, T., Boran Torun, S., Avcı, B., & Öztürk, E. (2021). *Yapay Zekâ Optimizasyon Tekniği ile Hibrit Kompozit Bileşenlerinin Optimizasyonu: Lignin / Zeolit / Doğal Lif Takviyeli Termoplastik Esaslı Hibrit Kompozit Örneği*. Trabzon: TUBİTAK.
- Dönmez Çavdar, A., Öztürk, E., & Çavdar, T. (2018). *A Novel Approach to Determine the Amount of Natural Fiber and Polymer of Composite Materials via Artificial Neural Networks*. International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP). Malatya.
- Hastie, J., Kashtalyan, M., & Guz, I. (2019). *Failure analysis of thermoplastic composite pipe (TCP) under combined pressure, tension and thermal gradient for an offshore riser application*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 178, 103998.
- Islam, F., Wanigasekara, C., Rajan, G., Swain, A., & Prusty, B. (2022). *An approach for process optimisation of the Automated Fibre Placement (AFP) based thermoplastic composites manufacturing using Machine Learning, photonic sensing and thermo-mechanics modelling*. Manufacturing Letters.
- Karakaş, M., & Yüzgeç, U. (2019). *Opposition based gray wolf algorithm for feature selection in classification problems*. 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). IEEE.
- Kirenci, Ü. (2021). Ocak 11, 2021 tarihinde <https://acemimuhendis.com/2011/06/22/kompozit-malzeme-uretim-yontemleri/> adresinden alındı
- Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. (1999). *Composite Materials: Engineering and Science*. Florida: CRC Press.
- Mech, L. (1999). *Alpha status, dominance, and division of labor in wolf packs*. Canadian journal of zoology, 77(8), 1196-1203.
- Meyers, R. (2002). *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Academic.
- Mirjalili, S. (2015). *How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons*. Applied Intelligence, 43(1), 150-161.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S., & Lewis, A. (2014). *Grey wolf optimizer*. Advances in engineering software, 69, 46-61.
- Muro, C., Escobedo, R., Spector, L., & Coppinger, R. (2011). *Wolf-pack (Canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations*. Behavioural Processes, 88(3), 192-197.
- Öztürk, E., Dönmez Çavdar, A., & Çavdar, T. (2021). *Yusuçuk Algoritması ile Termoplastik Hibrit Kompozitlerin Üretiminde Katkı Maddeleri Oranlarının Optimizasyonu*. 1.Uluslararası Yapay Zeka ve Veri Bilimi Kongresi. İzmir.
- Öztürk, E., Dönmez Çavdar, A., Çavdar, T., & Mengeloğlu, F. (2021). *Optimization of Hybrid Thermoplastic Composite Production via Artificial Intelligence Approach*. Automotive Composites Conference and Exhibition (ACCE 2021). Michigan, USA.
- Qiu, Y., Zhou, J., Khandelwal, M., Yang, H., Yang, P., & Li, C. (2021). *Performance evaluation of hybrid WOA-XGBoost, GWO-XGBoost and BO-XGBoost models to predict blast-induced ground vibration*. Engineering with Computers, 1-18.
- Shirmohammadi, M., Goushchi, S. J., & Keshtiban, P. M. (2021). *Optimization of 3D printing process parameters to minimize surface roughness with hybrid artificial neural network model and particle swarm algorithm*. Progress in Additive Manufacturing, 6(2), 199-215.
- Trost, B. M. (2002). *On inventing reactions for atom economy*. Accounts of chemical research, 35(9), 695-705.
- URL-1: <https://www.mar-bal.com> (Erişim Tarihi: 02.07.2022)
- URL-2: <https://tr.wikipedia.org> (Erişim Tarihi: 01.07.2022)
- URL-3: <https://www.eurolab.com.tr> (Erişim Tarihi: 03.07.2022)
- URL-4: <https://www.merriam-webster.com> (Erişim Tarihi: 05.07.2022)
- URL-5: <https://huskyintelligence.com> (Erişim Tarihi: 04.07.2022)

URL-6: <https://byjus.com/maths/bisection-method/> (Erişim Tarihi: 04.07.2022)

URL-7: <https://tr.wikipedia.org> (Erişim Tarihi: 02.07.2022)

Xia, H., Shi, C., Wang, J., Bao, X., Li, H., & Fu, G. (2021). *Effects of thickness and winding angle of reinforcement laminates on burst pressure capacity of thermoplastic composite pipes*. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 143(5).

Zor, M. (2021). *Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notları*. Ocak 11, 2021 tarihinde <http://mehmetzor.com/dersler/kompozit-malzeme-mekanigi/ders-notlari/> adresinden alındı

## CBS Yardımıyla Giresun İli Bulancak İlçesinin Arazi Örtüsü ve Topoğrafik Özelliklerinin Tarımsal Yönden Değerlendirilmesi

Bahadır ATMACA<sup>1\*</sup>

### Öz

Bu araştırmanın amacı, coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) faydalanılarak, Giresun'un Bulancak ilçesinin bazı arazi özelliklerini belirlemek ve tarımla ilişkili olarak değerlendirmektir. Sayısal yükseklik modeli (SYM/DEM) verileri kullanılarak haritaların oluşturulması ve alan hesaplamaları aşamalarında ArcGIS-ArcMap 10.3 programı kullanılmıştır. İlçede, 0-3.102 m aralığında değişen yükselti değerleri 10 sınıfa ayrılmıştır. 0-1.200 m arasında yükseltiye sahip toplam alanın oranı % 44,504 olarak bulunmuştur. 1.200-1.500 m yükselti grubu % 20,655 ile en geniş alanı kaplamakta iken, en az alan (% 0,444) kaplayan yükselti grubu 2.700-3.102 m olarak belirlenmiştir. Bulancak'ta eğim; hafif, orta ve dik olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Dik eğim sınıfındaki alan miktarının, orta eğim sınıfındaki alan miktarından 4,609 kat fazla olduğu saptanmıştır. Dik (% 20+) eğimli araziler tarımsal faaliyetler için uygun bulunmamıştır. Bu alanlarda, ağaçlandırma çalışmaları yapılmalı ve doğal bitki örtüsü de korunmalıdır. İlçenin bakı analizine göre, kuzey bakı grubu olarak belirlenen kuzey, kuzeybatı, kuzeydoğu ve doğu bakılı alanların, ilçe yüzölçümünün yarısından fazlasını (% 56,214) kapladığı belirlenmiştir. CORINE arazi örtüsü 2018 verileri analiz edildiğinde; Bulancak ilçesinde karışık ormanların 163,822 km<sup>2</sup> (% 22,757) ile en geniş alana sahip olduğu; buna karşın en az alana sahip olan arazi örtüsü sınıfının 0,212 km<sup>2</sup> (% 0,029) ile deniz ve okyanus olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan verilerin, tarımsal faaliyetler başta olmak üzere, gelecekte Bulancak'ta yapılabilecek bazı araştırmalar için ön fikir verebileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** CBS, Topoğrafya, Corine, Tarım, Bulancak, Giresun.

## Agricultural Evaluation of Land Cover and Topographical Characteristics of Bulancak District of Giresun Province with the Help of GIS

### Abstract

The aim of this research is to determine some land characteristics of Bulancak district of Giresun and evaluate them in relation to agriculture by using geographic information systems (GIS). ArcGIS-ArcMap 10.3 program was used in the creation of maps and area calculations using digital elevation model (SYM/DEM) data. Altitude values varying between 0-3.102 m in the district are divided into 10 classes. The ratio of the total area with an altitude between 0-1.200 m was found to be 44,504%. While the altitude group of 1.200-1.500 m covers the largest area with 20,655%, the altitude group covering the least area (0,444%) is determined as 2.700-3.102 m. The slope in Bulancak; classified as mild, moderate and steep. It was determined that the amount of area in the steep slope class is 4,609 times more than the amount of area in the medium slope class. Lands with steep (20+%) slopes were not found suitable for agricultural activities. Afforestation works should be carried out in these areas and natural vegetation should be protected. According to the aspect analysis of the district, it has been determined that the north, northwest, northeast and east facing areas, which are determined as the north aspect group, cover more than half of the district's surface area (56,214%). When CORINE land cover 2018 data is analyzed; In Bulancak district, mixed forests have the largest area with 163,822 km<sup>2</sup> (22,757%); on the other hand, it was determined that the land cover class with the least area is sea and ocean with 0,212 km<sup>2</sup> (0,029%). It is thought that the data revealed in the study can give preliminary idea for some future researches that can be done in Bulancak, especially agricultural activities.

**Keywords:** GIS, Topography, Corine, Agriculture, Bulancak, Giresun.

Bu çalışmanın bir bölümü, 5. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresinde (Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, 17-19 Şubat 2022) özet olarak sunulmuştur.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Şebinkarahisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, Giresun, Türkiye, bahadir.atmaca@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-4829-180X>

## 1. Giriş

CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi), gelişen teknolojiye paralel olarak gelişen ve gelişmeye devam eden kapsamlı bir bilgi sistemi olması nedeniyle günümüzde büyük değer taşımaktadır (Bajjali, 2018). 21. yüzyılda gelişen teknolojik imkânlar coğrafi bilgi sistemlerinin fonksiyonlarının da artışına sebep olmuştur. Böylelikle CBS yalnızca harita çiziminden ibaret olmayarak aynı zamanda, verilerin sayısal ortamda depolanmasını, geleneksel metotlara kıyasla daha hızlı biçimde değerlendirilmesini sağlar. Coğrafi bilgi sistemi yardımıyla elde bulunan verilerden yeni veriler elde edilebilmekte ve bu verilere bağlı şekilde çeşitli haritalar yapılabilmektedir. Bu da veri zenginliğini arttırmaktadır (Değerliyurt ve Çabuk, 2015). Coğrafi bilgi sistemi, doğal ve kültürel arazi kaynakları için en ideal kullanımı tespit etmeye yardımcı olup, arazi kaynak planlamasını başarıyla gerçekleştirir (Sönmez ve Sarı, 2004).

Sürdürülebilir kırsal kalkınmayı sağlayabilmek için doğal ve kültürel potansiyelin belirlenip, ekolojik yapıya elverişli alan kullanımları tespit edilmelidir. Alan planlamasını kırsal yaşamın sosyal, kültürel, siyasi, ekonomik ve örgütsel boyutlarını içeren geniş bir bakış açısıyla ele almak gerekmektedir. Tarım alanlarını uygulanabilir ve etkin bir şekilde planlayabilmek için doğru, güvenilir ve güncel olan bilgiye ihtiyaç vardır. Ancak klasik metotlarla ulaşılan bilgiler ve yapılan haritalar, hızla ve sürekli bir şekilde değişen dünyada plancının bu ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmakta, uzun zaman ve yüksek maliyete sebep olmaktadır (Demir ve ark., 2011). Coğrafi bilgi sistemleri ortamında hazırlanacak bir Tarım Bilgi Sistemi sayesinde bütün arazi kullanım tipleri için potansiyel kullanım alanları belirlenebilecektir. Bununla birlikte bu verilere sosyal, kültürel ve ekonomik faktörlerin de ilave edilmesi ile arazi planlaması için temel kartoğrafik materyal hazırlanabilecektir (Başayığıt ve Şenol, 2008). DEM verisi üç boyutlu raster bir veri olup, meydana getiren her piksel enlem, boylam ve denizden yükseklik verilerini kapsamakta ve bu özelliği ile birlikte araziye ilişkin bazı haritaların üretiminde kullanılmaktadır. Örnek olarak coğrafi bilgi sistemleri ortamında sayısal yükseklik modelinden faydalanılarak, yükselti seviyeleri, eğim, bakı ve gölgelendirme (hillshade) haritaları hazırlanabilmekte ve bunlar birlikte gösterilebilmektedir (Değerliyurt ve Çabuk, 2015). Uzaktan algılama ve CBS ile oluşturulan CORINE veri tabanı detay sınıflarda bir kısım hataları kapsamakla beraber, ana sınıflar bakımından incelendiğinde Türkiye arazi örtüsü ile ilgili fikir vermek için önemli değere sahiptir (Bayar ve Karabacak, 2017).

Karaca ve ark. (2019), coğrafi bilgi sistemlerini kullandıkları çalışmada, Van şehrinin topoğrafik haritasından arazinin yükselti modelini elde etmişler ve eğim, bakı, yükselti ve kabartı haritalarını oluşturmuşlardır. Van'ın toplam alanının % 24.63'ünün % 6'dan az eğim değerlerinde olduğunu, % 40.53'ünün % 6-30 aralığındaki eğim değerlerinde olduğunu bulmuşlardır. % 30'dan düşük olarak saptanan eğimli alanların ilin % 64.16'sını kapladığını bildirmişlerdir. Van'da bakı

durumuna göre, düz alanların 161.301 ha (% 7.77) yüzölçümüne sahip olduklarını ve en fazla alan kaplayan bakı sınıfının da 263.396 ha (% 12.69) ile kuzeybatı olduğunu bildirmişlerdir. Güneybatı bakılı alanlar ise 254.667 ha (% 12.27) alana sahip olarak saptanmıştır. Sonuç olarak, arazilerin bazılarının tarım yapılabilecek özellikte olmalarına rağmen, topoğrafya bakımından elverişli olmadıklarını tespit etmişlerdir. Tarımsal amaçlı kullanılan arazilerde yüksek eğimin, toprak erozyonuna sebep olacağı için sakıncalı bir durum olduğunu belirtmişlerdir. Demir ve ark. (2011), CBS araçlarını kullandıkları çalışmada, İspir ve çevresinde nüfusun temel ekonomik faaliyetlerinin tarım ve hayvancılık olduğunu, ancak potansiyel tarıma uygun arazilerin dar ve az olduğunu bildirmişlerdir. İnceleme alanında yer alan tarım alanlarının büyük oranda aktif şekilde kullanılmamasındaki temel nedenlerin arasında; iklimden dolayı ürün çeşitliliğinin azlığının, üretilen ürünlerin ekonomik olarak gelir getirmemesinin ve aktif iş gücü eksikliğinin bulunduğunu belirtmişlerdir. Yüksek ve ark. (2020), Fırtına Havzasında (Rize), CBS kullanarak yapmış oldukları çalışmada, Fırtına deresi batı havza grubunun ortalama yükseltisinin Durak deresi havzasından % 20 daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Batı havza grubu Fırtına deresi havzası arazilerinin % 60.12'sinin (49929.24 ha) gölgeli bakılar üzerinde, arazilerin % 39.88'inin de (33116.54 ha) güneşli bakılar üzerinde bulunduğunu saptamışlardır. Durak deresi yağış havzası arazilerinin % 53.40'ının gölgeli bakılar üzerinde; % 46.60'ının da güneşli bakılar üzerinde yer aldığını belirlemişlerdir. Batı havza grubu-Fırtına deresi havzasında en geniş arazi varlığının 19684.21 ha (% 23.70) ile % 31-40 eğim grubunda, en az arazi varlığının ise 14.32 ha (% 0.02) ile % 101-110 eğim gurubunda bulunduğunu tespit etmişlerdir. Durak deresi havzasında arazilerin % 35.24'ünün % 0-30 eğim grubunda, % 60.88'inin % 31-60 eğim grubunda ve % 3.88'inin > % 61 eğim grubunda yer aldığını saptamışlardır. Karabacak (2021), Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti-Lefkoşa arazilerinin tarımsal uygunluk analizlerini yapmış olduğu çalışmasında, mevcut arazi örtüsünü saptayabilmek için CORINE 2018 veri tabanından faydalanmıştır. Alanın yaklaşık % 67'sinin tarım alanlarından, % 18'inin maki ve otsu bitkilerden, fundalıklardan, % 15'inin ise yapay alanlardan meydana geldiğini bildirmiştir. Avcı ve Sunkar (2018), Bulancak ilçesinde arazi kullanımındaki değişme ve dere yataklarına müdahaleler yapılması sebebiyle sel ve taşkınların frekansında artma olduğunu ve afet düzeyinde etkiye sahip sel ve taşkınların, ilçe adına en önemli doğal afet riski olarak önemini koruduğunu bildirmişlerdir.

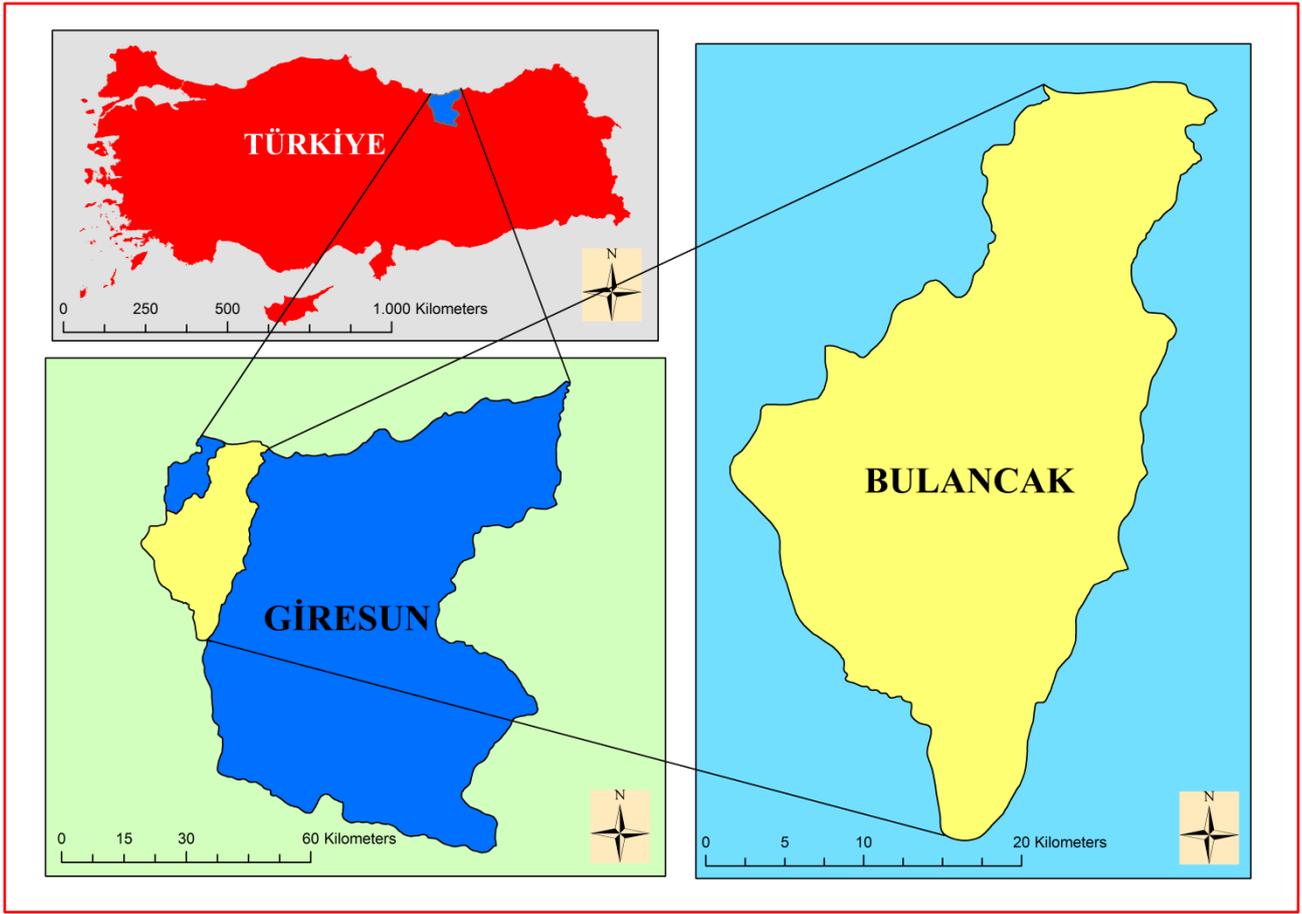
Bu çalışma, Giresun'un Bulancak ilçesinin topoğrafik özelliklerini (yükselti, eğim, bakı, kabartı) ve arazi örtüsünü (CORINE 2018) CBS ile haritalandırmak, alan hesaplamalarını yapmak ve elde edilen bilgileri tarımsal bakımdan değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Mevcut çalışma, yörede daha sonra yapılabilecek araştırmalar için de bir ön fikir sağlayabilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

Bulancak ilçesi, Giresun'un batısında Karadeniz kıyı kuşağında kurulmuş ve kurulduğu yörenin topoğrafyası, Giresun iline yakın olması ve kıyıda ulaşım yolu üstünde bulunması sebebiyle son 20-30 senelik sürede çok hızlı ve plansız bir biçimde gelişmiştir. Bulancak ilçesini etkileyen Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak derelerinin aşağı ve yukarı havzalarında farklı jeomorfolojik özelliklere rastlanılmaktadır. İlçe, kıyıda bulunan ve eski yelpaze dolgularından oluşan taraçalar üzerinde kurulmuştur. Kısmen alçak platolarla çevrelenmiş olan bu alan dışında güneye doğru tamamıyla dağlık alanlara geçilmektedir (Avcı ve Sunkar, 2018).

ArcGIS-ArcMap 10.3 programında yapılan haritaların alan hesaplamalarında, Bulancak ilçesinin yüzölçümü 720 km<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. İlçeye ait iklim verileri ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Bulancak ilçesinin yüksekliği 286 m olup, ilçede 2015-2020 yılları arasındaki 6 yıllık süreçte; yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,6 °C, yıllık toplam yağış miktarı ortalama 938,94 mm ve yıllık ortalama nispi nem % 77,5 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte ilçede yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 160,33 olarak saptanmış ve yıllık ortalama rüzgâr hızı da 2,0 m/s olarak bulunmuştur (Anonim, 2021a). Öztürk ve ark. (2021), Bulancak ilçesinde yaptıkları araştırmada, tarım arazilerinin çok büyük bir kısmını fındık bahçelerinin oluşturduğunu ve fındık arazilerini de sırasıyla diğer meyveler, tarla bitkileri, sebzeler, çayır-mera ve çalılık-ağaçlık arazilerin takip ettiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte ilçede büyükbaş, küçükbaş, kümes, binek hayvan yetiştiriciliği ve arıcılık faaliyetlerinin de yapıldığını belirtmişlerdir. Yılmaz ve Han (2016), Bulancak'ın, mısır yetiştiriciliğinde iklimsel avantajlarının olduğunu ve ilçede kaliteli ve verimli mısır üretiminin kolay bir biçimde yapılabileceğini bildirmişlerdir.

Şekil 1'de sunulan Bulancak ilçesi lokasyon haritası, Anonim (2021b)'den ulaşılan Türkiye mülki idare sınırları verileri ile ArcGIS-ArcMap 10.3 programında yapılmıştır. Bulancak'a ait; yükselti, eğim, bakı, kabartı ve CORINE 2018 arazi örtüsü haritalarının hazırlanmasında, sayısal yükseklik modeli (DEM) verisi (SRTM 1 Arc-Second Global/~30 meters) ve Türkiye mülki idare sınırları verileri kullanılmıştır (USGS, 2022; Anonim, 2021b). Bu araştırmada, datum/projeksiyon dönüşümleri WGS 1984 UTM Zone 37 N olacak biçimde hazırlanmıştır. DEM verisinin hücre boyutu (X, Y) 30m, 30m olarak ayarlanmıştır. Haritalar ve alan hesaplamaları için ArcGIS-ArcMap 10.3 programı kullanılmıştır. CORINE arazi örtüsü 2018 verileri (Corine Land Cover - ESRI FGDB 2018 Vector ESRI Geodatabase v2020\_20u1 5.0 GB), European Environment Agency (EEA) (2021)'den indirilmiştir. CORINE 2018 haritasının lejantı ve arazi örtüsü sınıflaması için Anonim (2022)'den faydalanılmıştır.



Şekil 1. Bulancak ilçesinin lokasyon haritası

Tablo 1. Bulancak ilçesinin 2015-2020 arasındaki 6 yıllık iklim verileri ortalamaları

Parametre (Ortalama)	Aylar												Yıllık
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Sıcaklık (°C)	6,8	8,0	9,6	11,8	16,1	20,3	21,9	22,7	20,3	16,3	12,6	9,0	14,6
Yağış (mm)	108,33	64,43	77,15	51,43	86,18	60,85	71,55	66,15	77,28	117,67	93,52	64,40	938,94
Nispi Nem (%)	68,7	69,5	71,9	73,1	84,5	86,5	86,8	86,4	85,1	82,7	68,3	66,4	77,5
Yağışlı Gün Sayısı	14,17	12,67	12,83	11,17	17,83	15,50	13,83	15,33	13,17	14,50	9,83	9,50	160,33
Rüzgâr Hızı (m/s)	2,2	2,3	2,2	2,0	1,8	1,9	2,0	1,9	1,9	1,7	2,0	2,1	2,0

Kaynak: Anonim (2021a)

2021 yılı TÜİK (TÜİK, 2022) verilerine göre, Bulancak ilçesinde özellikle fındık, lahana (kara yaprak) ve patates (tatlı patates hariç); ekilen alan (dekar) ve üretim miktarı (ton) bakımından en yüksek değerlere sahiptirler. Meyveler, içecek ve baharat bitkilerinin ekildiği toplam alan 159637 dekar ve toplam üretim miktarı da 11519 tondur. İlçede ekili sebze alanı toplam 2458 dekar, sebze üretim miktarı toplam 2660 tondur. Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler için toplam 2286 dekar ekilen alan ve toplam 2497 ton üretim miktarı belirlenmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Bulancak ilçesinin 2021 yılına ait bazı bitkisel üretim verileri

Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)
Fındık	159510	10526
Kivi	53	210
Çilek	35	63
Maviyemiş	12	5
Kiraz	10	280
Çay Yaprakları	7	4
Ceviz	6	78
Armut	2	339
Trabzon Hurması (Cennet Elması)	2	14
<b>TOPLAM</b>	<b>159637</b>	<b>11519</b>
Sebzeler	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)
Lahana (Kara Yaprak)	1070	642
Hıyar (Sofralık)	266	596
Domates (Sofralık)	266	560
Fasulye, Taze	232	283
Biber (Sivri)	121	76
Marul (Kıvırcık)	116	106
Bezelye, Taze	85	64
Patlıcan	78	101
Ispanak	38	55
Biber (Dolmalık)	35	23
Pazı	30	16
Pırasa	30	26
Bal Kabağı	24	48
Soğan (Taze)	20	25
Maydanoz	18	4
Kabak (Sakız)	14	15
Lahana (Beyaz)	6	13
Marul (Göbekli)	6	5
Semizotu	2	1
Brokoli	1	1
<b>TOPLAM</b>	<b>2458</b>	<b>2660</b>
Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünler	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)
Patates (Tatlı Patates Hariç)	1200	2223
Mısır	1050	130
Mısır (Silaj)	36	144
<b>TOPLAM</b>	<b>2286</b>	<b>2497</b>

Kaynak: TÜİK (2022)

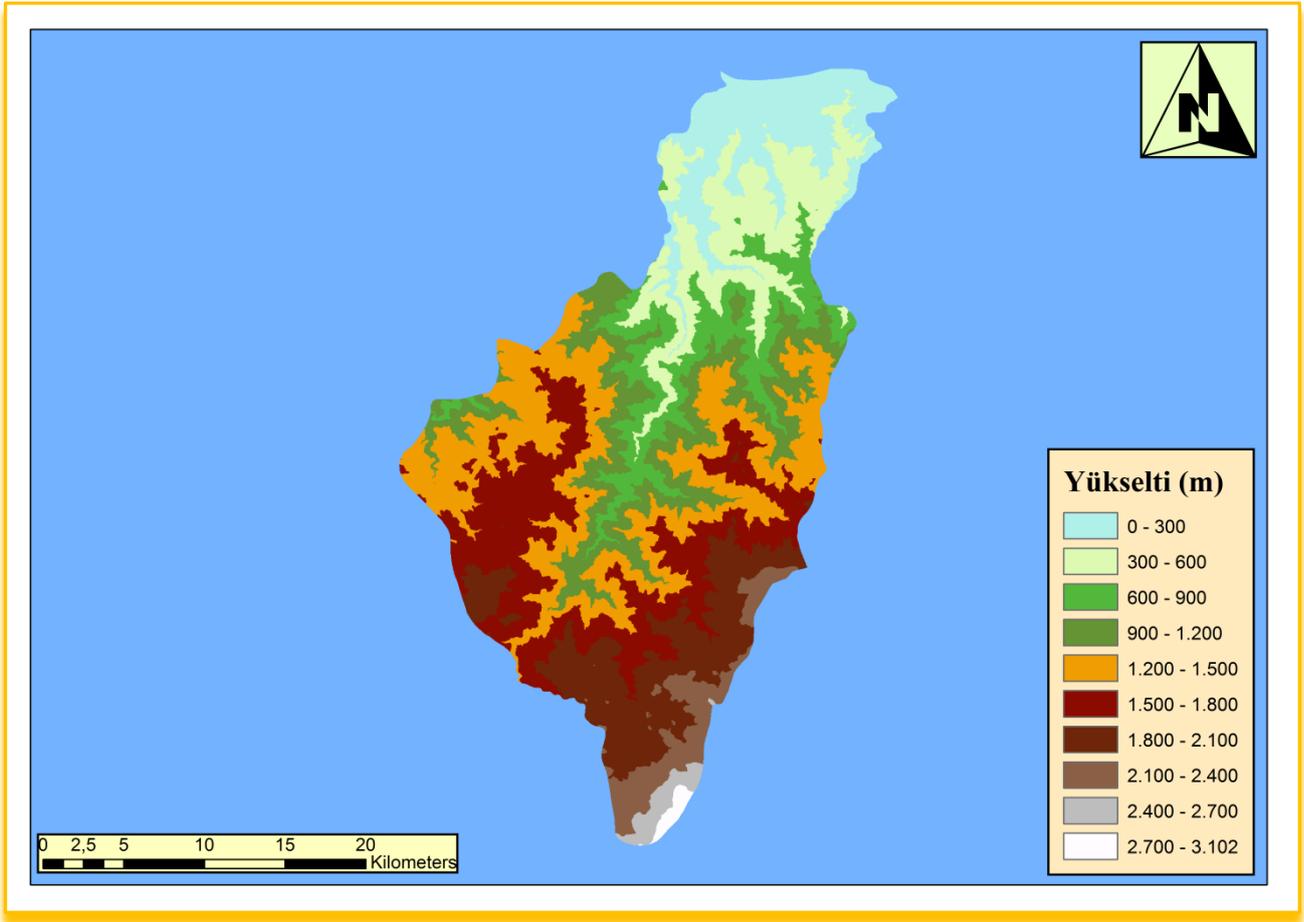


### 3. Bulgular ve Tartışma

Yeryüzündeki herhangi bir alanın denizden yüksekliği o alanın diğer bütün coğrafi koşullarının oluşumunda çok büyük öneme sahiptir. Türkiye genel anlamda, yüksek ve engebeli bir konumdadır (Üstündağ, 2009). Bulancak ilçesindeki bu çalışmada, 10 sınıfa ayrılmış olan yükselti değerlerinin 0 ile 3.102 m arasında değiştiği belirlenmiştir. İlçenin kuzeyinden güney kesimlerine doğru yükseltinin kademeli bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 2). İlçede, 1.200-1.500 m yükselti grubu 148,677 km<sup>2</sup> (% 20,655) ile en geniş alanı kaplamaktadır. Buna karşın en az alan [(3,198 km<sup>2</sup> / % 0,444)] kaplayan yükselti grubu 2.700-3.102 m olarak belirlenmiştir. 123,537 km<sup>2</sup> (% 17,163) ile 1.500-1.800 m yükselti grubu, ilçedeki 2. en geniş alana sahiptir. 0-300 m, 300-600 m, 600-900 m ve 900-1.200 m yükselti gruplarının alanları ve payları sırasıyla; 73,931 km<sup>2</sup> (% 10,271), 85,228 km<sup>2</sup> (% 11,841), 68,806 km<sup>2</sup> (% 9,559) ve 92,37 km<sup>2</sup> (% 12,833) olarak saptanmıştır. Bununla birlikte 1.800-2.100 m, 2.100-2.400 m, 2.400-2.700 m ve 2.700-3.102 m yükselti gruplarına ait alanlar ve payları sırasıyla; 86,047 km<sup>2</sup> (% 11,954), 29,809 km<sup>2</sup> (% 4,141), 8,191 km<sup>2</sup> (% 1,138) ve 3,198 km<sup>2</sup> (% 0,444) olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Bulancak ilçesindeki bu çalışmanın bulguları ile farklılıklar gösteren bir araştırmada; Karademir ve ark. (2020), Kahramanmaraş'ın Andırın ilçesinde güneyden kuzeye doğru yükseltinin kademeli şekilde arttığını bildirmişlerdir. Alansal dağılışa göre ilçe topraklarının; en fazla (% 39) 1000-1500 m yükselti basamağında yer aldığını ve en az (% 14,3) ise 118-500 m yükselti basamağında yer aldığını belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada Üstündağ (2009), Elazığ ili genelinde 1000-1250 m yükselti kuşağındaki alanların 3.231 km<sup>2</sup> (% 34,693) ile en fazla yeri kapladığını belirtmiştir. Atmaca (2021), Giresun'un Şebinkarahisar ilçesinde yaptığı benzer bir çalışmada, 1.466 m-1.610 m yükselti grubunun 156,372 km<sup>2</sup> ile en geniş alanı kapladığını ve 2.630 m-3.102 m yükselti grubunun 16,444 km<sup>2</sup> ile en az alana sahip olduğunu belirlemiştir.

Bu çalışmada, 0-1.200 m arasında yükseltiye sahip toplam alan 320,335 km<sup>2</sup> olarak bulunmuş olup, ilçe yüzölçümünün % 44,504'üne denk gelen bu alanlar, başta meyve (özellikle fındık), sebze ve tarla bitkileri yetiştiriciliği olmak üzere, tarımsal faaliyetlerin önemli bir kısmı için uygunluk göstermektedirler. Bununla birlikte bu alanlarda, yöre koşullarına (iklim, topoğrafya, toprak vb.) uyumlu ve ilçeye ekonomik katkı sağlayabilecek alternatif tarım ürünlerinin tespiti için de gerekli çalışmaların yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. 0-1.500 m aralığındaki alanların çoğunluğu, ilçenin orta kesimlerine kadar kuzey, batı ve doğu yönlerinde bulunmaktadır. Yükselti değerlerinin artmasıyla birlikte, tarımsal faaliyetlerde bazı sınırlamaların ortaya çıkabileceği düşünülerek; özellikle Bulancak'ta en geniş alanı kaplayan 1.200-1.500 m yükselti aralığındaki arazileri en iyi şekilde değerlendirebilmek için, tarımsal etüt çalışmalarının yapılması ve yöreye yararlı olabilecek tarımsal etkinliklerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İlçenin orta

kesimlerinden güneyine doğru gidildikçe daha da artan yükselti değerleri ile beraber, tarım için sınırlamaların çok daha yoğun olabileceği ve 1.500-3.102 m aralığındaki yükseltilerin kapladığı alanların hayvancılık faaliyetleri için büyük bir değere sahip oldukları düşünülmektedir. Benzer araştırmalarda; Bayındır (2006), Malatya ilinde, 1.000 m'den alçak alanlar (690-750 m ve 750-1.000 m) kuşağındaki verimli ve geniş tarım arazilerinin, yoğun bir şekilde çeşitli sebze, meyve ve endüstri bitkilerinin üretimini yapılmasına, nüfus ve yerleşmenin de bu alanlarda toplanmasına neden olduğunu belirtmiştir. 1.000-1.250 m yükselti kuşağına geçişle birlikte, arazi kullanımında 1.000 m'den alçak alanlara oranla daha az nüfuslanmanın olduğunu ve tarım ürünlerinde yeknesaklığın belirgin şekilde ortaya çıktığını bildirmiştir. 1.000-1.250 m yükselti kuşağında tahıl tarımının geniş yer tuttuğunu ve yöresel farklılık göstermekle birlikte bağ-bahçe tarımının da sürdüğünü tespit etmiştir. Üstündağ (2009), Elazığ ilinde, 1.250-1.500 m yükselti kuşağının % 29,37'sinin kuru tarım, % 11,39'unun sulu tarım, yaklaşık % 42'sinin mera ve % 14'ünün orman arazilerinden oluştuğunu bildirmiştir. 1.500-1.750 m kuşağının 2/3'ünü mera alanlarının kapsadığını ve tarımı yapılan ürünlerin çeşitliliğinde bir azalma gözlemlendiğini ifade etmiştir. 1.750-2.000 m yükselti kuşağının % 78,85'ini tarıma elverişli olmayan mera ve çıplak kayalık arazilerin kapladığını ve 2.000-2.250 m yükselti kuşağının çıplak kayalıklar vasfına büründüğünü tespit etmiştir. 2.250-2.500 m kuşağının iklim şartlarından dolayı tarımsal faaliyetleri engellediğini ve bahar aylarının gelişi ile birlikte ot varlığının ortaya çıkması ile hayvancılık çalışmaları için mera alanları şeklinde kullanıldığını saptamıştır.



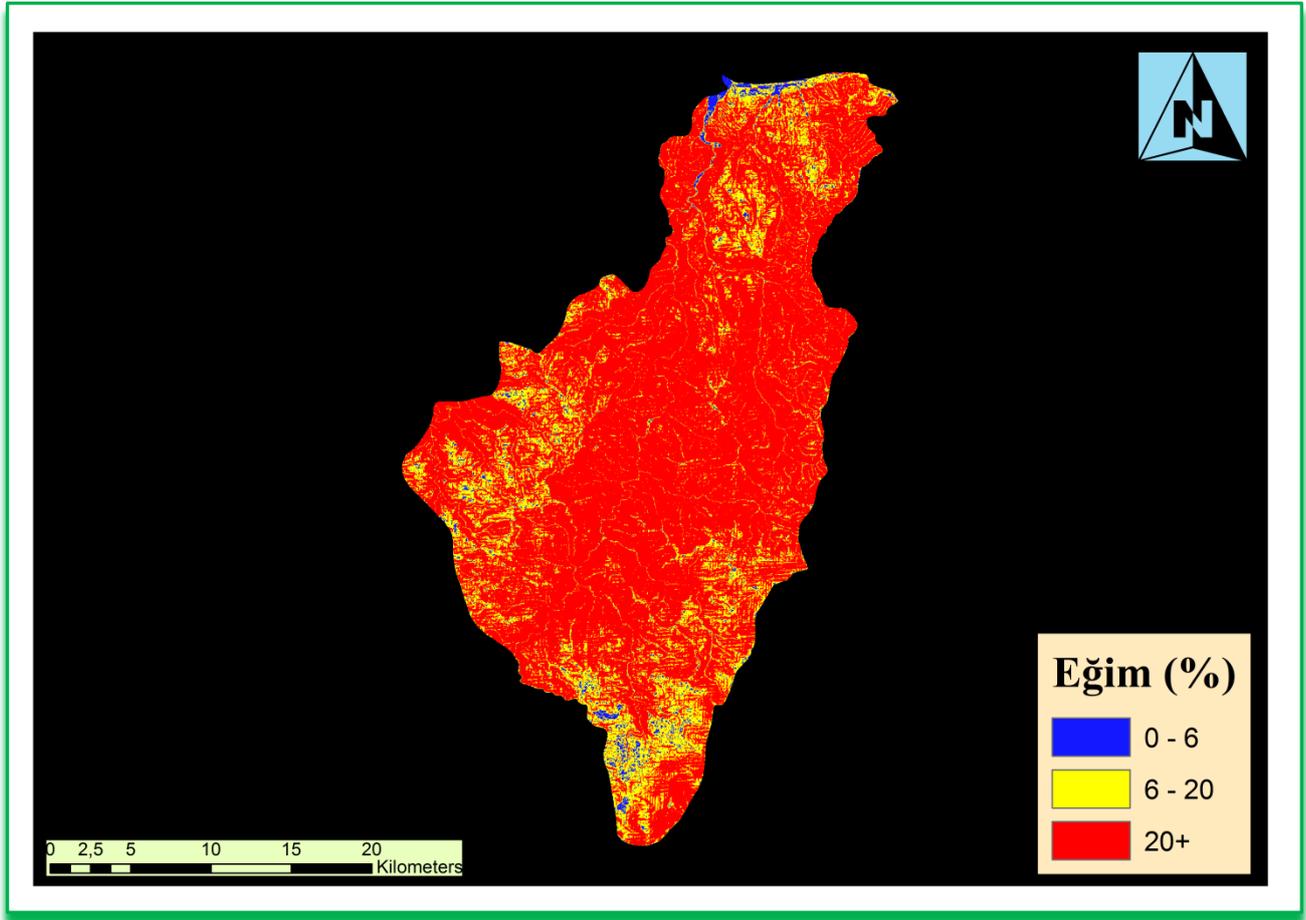
**Tablo 3.** Bulancak ilçesindeki yükselti gruplarının alanları ve payları

Yükselti Grubu (m)	Yükselti Alanı (km <sup>2</sup> )	Payı (%)
0 - 300	73,931	10,271
300 - 600	85,228	11,841
600 - 900	68,806	9,559
900 - 1.200	92,37	12,833
1.200 - 1.500	148,677	20,655
1.500 - 1.800	123,537	17,163
1.800 - 2.100	86,047	11,954
2.100 - 2.400	29,809	4,141
2.400 - 2.700	8,191	1,138
2.700 - 3.102	3,198	0,444

Giresun'un Bulancak ilçesinde eğim gruplarının sınıflandırılması, Anonim (1987)'in bildirdiği sınır değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre araştırma alanındaki eğim grupları; % 0-6 (hafif), % 6-20 (orta) ve % 20+ (dik) olacak şekilde 3 sınıfta belirlenmiştir. Şekil 3'te ilçenin eğim grupları haritası; Tablo 4'te de eğim gruplarının sahip olduğu alanlar ve payları verilmiştir. Bulancak ilçesinde eğim (%) değerlerinin artışıyla doğru orantılı olarak, eğim gruplarının

kapladıkları alanların miktarı da artış göstermektedir. Orta eğim grubundaki alan miktarı, hafif eğim grubundaki alan miktarının 7,788 katı olup, dik eğim grubundaki alan miktarı da orta eğim grubundaki alan miktarının 4,609 katına denk gelmektedir. İlçede, 578,191 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüyle (% 80,332) dik eğim grubu en geniş alana sahiptir. Buna karşın 16,109 km<sup>2</sup>'lik değeriyle (% 2,238) en az alanı kaplayan eğim grubunun hafif eğim grubu olduğu belirlenmiştir. Orta eğim grubunun kapladığı alan 125,454 km<sup>2</sup> ve payı da % 17,43 olarak saptanmıştır. Bulancak ilçesindeki bu çalışmada, eğim gruplarındaki alanlara ilişkin kullanmaya uygunluk tanımlamaları, Anonim (1987)'in bildirdiği şekilde yorumlanmıştır. Buna göre, Bulancak'ta en geniş alana sahip dik eğim grubunun tarıma elverişli olmayıp, otlak ve orman olarak değerlendirilebileceği; orta eğim grubundaki alanların koruyucu önlemlerle tarıma uygun olabileceği, çok sığ toprakların otlak ve orman olabileceği; hafif eğim grubundaki alanların da tarıma ve her türlü kullanıma uygun olabileceği düşünülmektedir.

Giresun ilinin Bulancak ilçesindeki yüksek eğim değerleri, tarımı olumsuz şekilde etkilediği gibi ilçede taşkınlara da sebep olan en önemli faktörlerdendir. Bu konuda Avcı ve Sunkar (2018), Bulancak ilçesinde etki gösteren akarsu havzalarında ortalama eğim değerlerinin 20°'ye yaklaştığını ve maksimum değerler baz alındığında Pazarsuyu ve Bulancak Deresi havzalarında eğimin nispeten daha fazla olduğunu saptamışlardır. Tekeş ve Cürebal (2019), Manisa ilinin Şehzadeler ilçesinde eğim sınıflarının alansal dağılışına göre en geniş sahayı (% 65,2) 301,7 km<sup>2</sup> ile % 0-1 eğim sınıfı/tam düzlük arazilerin oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Genel olarak tam düzlük, düzlük ve dalgalı düzlük arazilerin saha yüzölçümünün % 77,3'ünü; az eğimli, eğimli, dik ve çok dik yamaçların da sahanın % 22,7'sini kapladığını belirtmişlerdir. Atmaca (2021), Şebinkarahisar (Giresun) ilçesinde, sarp (% 30-45) eğim grubundaki arazilerin, 318,631 km<sup>2</sup> ile en geniş alana sahip olduğunu saptamıştır.



Şekil 3. Bulancak ilçesinin eğim haritası

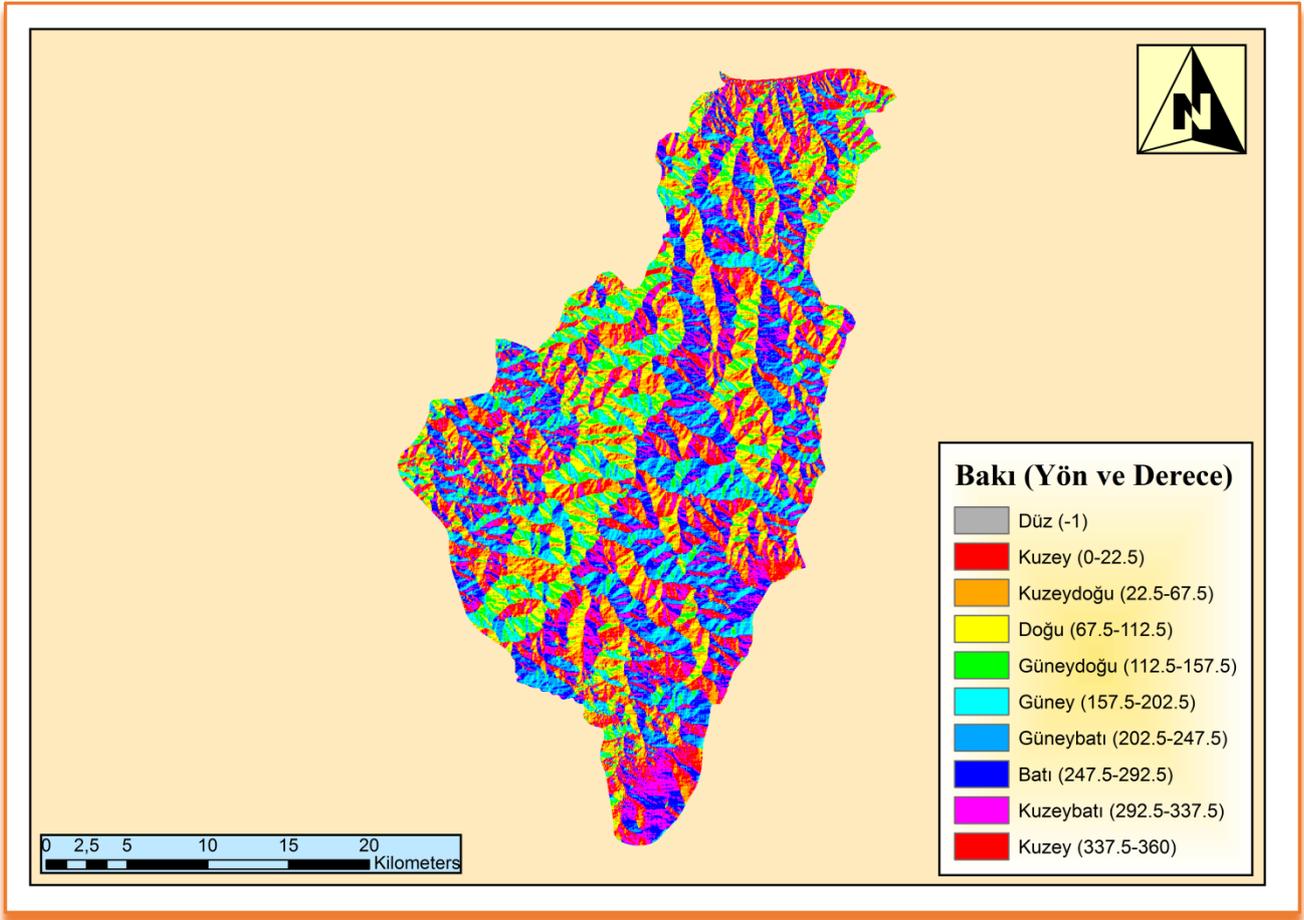
Tablo 4. Bulancak ilçesindeki eğim gruplarının alanları ve payları

Eğim Grubu (%)	Eğim Alanı (km <sup>2</sup> )	Payı (%)
0 - 6	16,109	2,238
6 - 20	125,454	17,43
20+	578,191	80,332

Arazi yüzeyindeki şekillenme, bakı faktörünü meydana getirmektedir. Bakı, güneş ışınlarının geliş açısıyla ilgili olması sebebiyle, sıcaklık-yağış ve nem şartlarını doğrudan etkilemektedir. Bu durum mikro-organizma faaliyetleri, toprak şartları, güneşlenme gibi unsurlar arasında farklılaşmaya sebep olmaktadır (Duran ve Günek, 2010). Bulancak ilçesindeki bu araştırmada belirlenen bakı yönleri ve dereceleri Şekil 4'te gösterilmiştir. İlçedeki bakı alanları, Acar ve ark. (2001) tarafından bildirildiği üzere; kuzey bakı grubu (kuzey, kuzeybatı, kuzeydoğu ve doğu) ve güney bakı grubu (güney, güneybatı, güneydoğu ve batı) olacak şekilde 2 bakı grubu oluşturularak hesaplanmıştır. Bununla birlikte düz bakılı alanlar ile ilgili veriler de sunulmuştur (Tablo 5). Buna göre, Bulancak'ta kuzey bakı grubunu oluşturan kuzey [(0°-22.5°) + (337.5°-360°)], kuzeybatı (292.5°-337.5°), kuzeydoğu (22.5°-67.5°) ve doğu (67.5°-112.5°) bakılı alanların toplam miktarı

404,609 km<sup>2</sup> (% 56,214) olarak saptanmıştır. Güney bakı grubunu oluşturan güney (157.5°-202.5°), güneybatı (202.5°-247.5°), güneydoğu (112.5°-157.5°) ve batı (247.5°-292.5°) bakılı alanların da 314,958 km<sup>2</sup> (% 43,759) yüzölçümüne sahip olduğu belirlenmiştir. Düz (-1°) bakılı alanların, ilçede 0,196 km<sup>2</sup> (% 0,027) alan kapladığı tespit edilmiştir.

Akkuş (2021), kuzey yarımkürede, güneşe bakan güney yamaçların, daha uzun süre güneş ışığı aldığı için fazla ısındığını, kuzey yamaçların daha soğuk olduğunu bildirmiştir. Bulancak ilçesindeki bu çalışmada, güney bakı grubunda sınıflandırılan alanlarda yapılabilecek tarımsal sulama, seracılık ve hayvancılık işletmeleri gibi tarımsal faaliyetlerde güneş ışıklarından yararlanma olanaklarının değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Koca ve Menteşe (2020), Eskişehir'in merkez ilçelerinde hâkim olan bakı yönünü güney olarak belirlemişlerdir (% 18,90). Bunu kuzey (% 14,49), kuzeydoğu (% 14,07) ve güneydoğu (% 12,98) bakıların izlediğini saptamışlardır. Düz alan ise en düşük orana sahip bulunmuştur (% 0,004). Koca ve Menteşe (2020)'nin bulguları ile karşılaştırıldığında; Bulancak ilçesinde yapılan bu çalışmada da benzer şekilde düz bakılı alanların en düşük orana sahip olduğu belirlenmiş, fakat farklı olarak en geniş alanı kuzey bakılı alanların kapladığı saptanmıştır. Avcı ve Sunkar (2018) da Bulancak ilçesinde yaptıkları çalışmada, inceledikleri akarsu havzalarının bakı yönünün kuzey olduğunu ve Karadeniz üzerinden gelen nemli ve yağışlı hava kütlelerine açık olduğunu bildirmişlerdir. Benzer durumun, mevcut çalışmada da Bulancak ilçesinde kuzey bakı grubu içerisinde sınıflandırılan alanlar için geçerli olabileceği düşünülmektedir. Atmaca (2021), 1396 km<sup>2</sup> alana sahip olan Şebinkarahisar'da, güney, güneydoğu ve güneybatı bakıya sahip alanların toplam miktarını 614,457 km<sup>2</sup> olarak belirlemiştir.

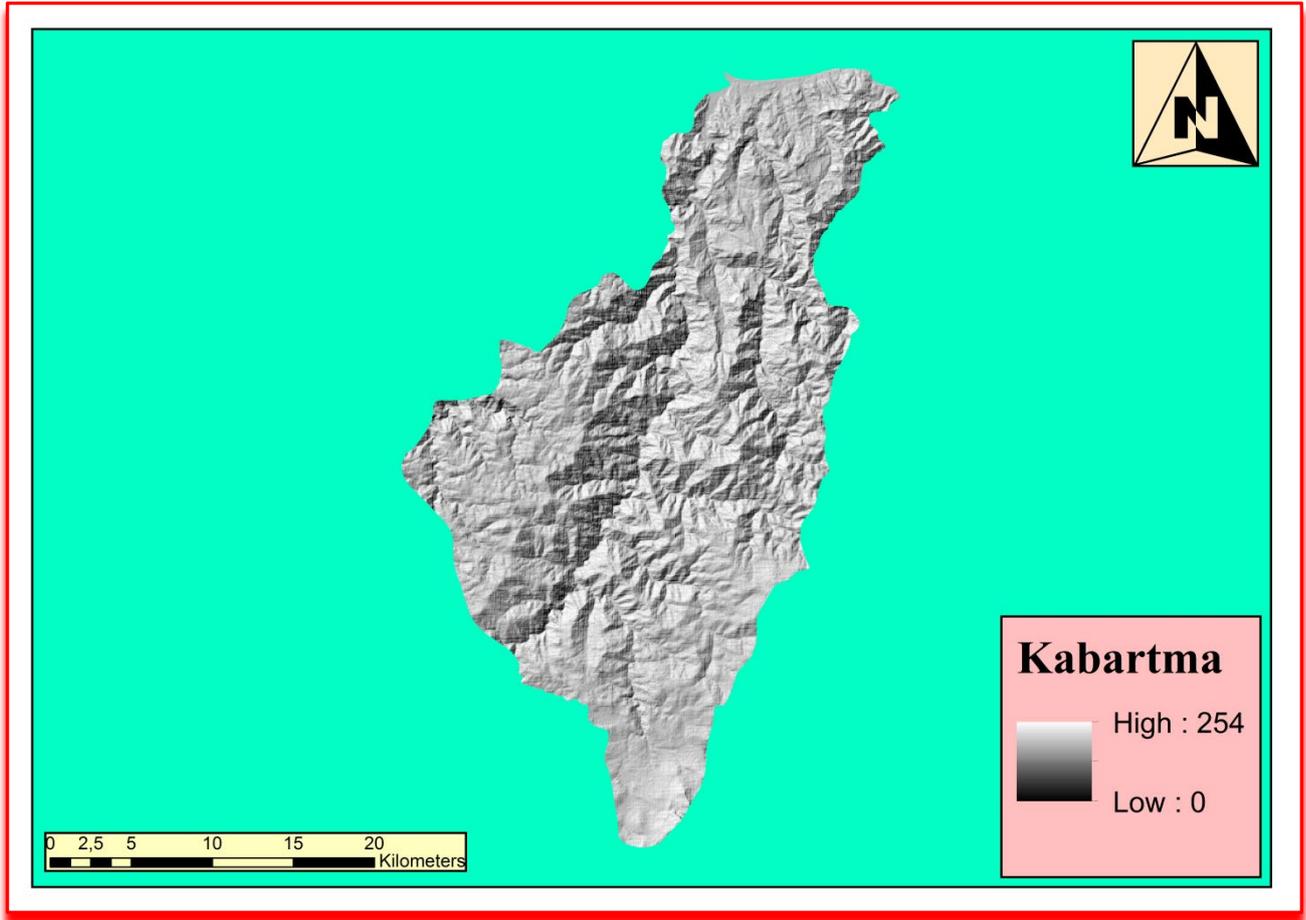


Şekil 4. Bulancak ilçesinin bakı haritası

Tablo 5. Bulancak ilçesindeki bakı gruplarının alanları ve payları

Bakı	Bakı Alanı (km <sup>2</sup> )	Payı (%)
Düz	0,196	0,027
Kuzey Bakı Grubu (K, KB, KD, D)	404,609	56,214
Güney Bakı Grubu (G, GB, GD, B)	314,958	43,759

Bulancak ilçesini kapsayan bu araştırmada, görselliği desteklemek amacıyla hazırlanmış olan kabartı haritası Şekil 5'te gösterilmiştir.



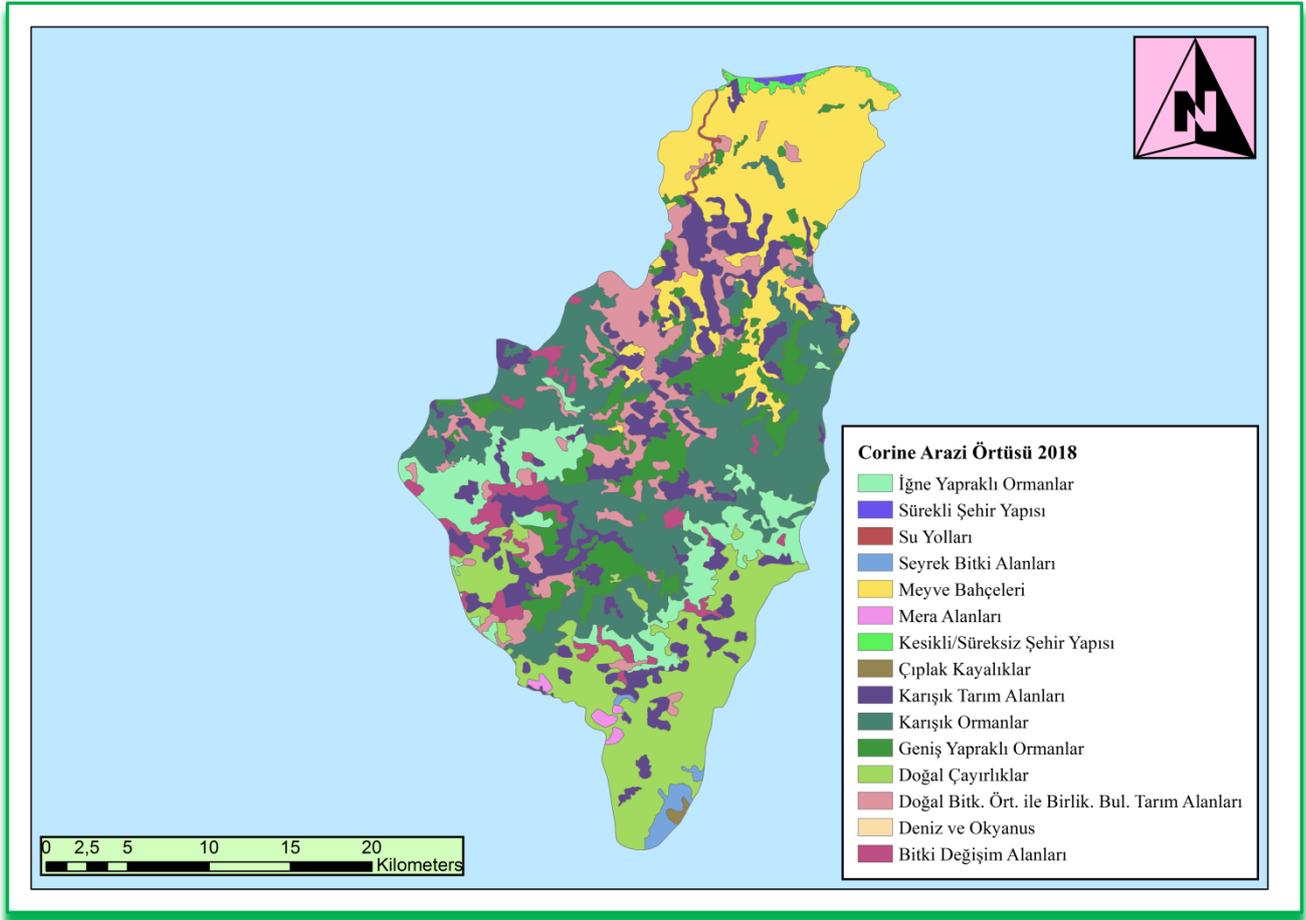
Şekil 5. Bulancak ilçesinin kabartı haritası

Gençer ve ark. (2015), Eğirdir Gölü çevresinde yaptıkları çalışmada, CORINE yöntemi ile hazırlanan haritaların ilerleyen zamanda göl çevresinde yapılacak araştırmalar için altlık olabilecek nitelikte olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte, Türkiye'nin tamamı için hazırlanan CORINE haritalarının daha büyük ölçekte ve daha detaylı şekilde güncellenmesi ile kullanılabilirliği yüksek temel haritalara dönüşebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Giresun'un Bulancak ilçesinde yapılan bu çalışmada, CORINE 2018 arazi örtüsü haritası hazırlanmış ve alanları hesaplanmıştır (Şekil 6, Tablo 6). Buna göre Bulancak'ta, arazi örtüsü sınıflarından karışık ormanların 163,822 km<sup>2</sup> (% 22,757) ile en geniş alana sahip olduğu belirlenmiştir. Meyve bahçeleri 119,255 km<sup>2</sup> (% 16,566) yüzölçümüyle en geniş alana sahip olan 2. arazi örtüsü sınıfı; doğal çayırlıklar da 103,136 km<sup>2</sup> (% 14,327) ile en geniş alana sahip 3. arazi örtüsü sınıfı olarak bulunmuştur. En az alana sahip arazi örtüsü sınıfının deniz ve okyanus olduğu tespit edilmiştir [0,212 km<sup>2</sup> (% 0,029)]. Geniş yapraklı ve iğne yapraklı ormanların sırasıyla; 68,059 km<sup>2</sup> (% 9,454) ve 65,297 km<sup>2</sup> (% 9,07) alanlar kapladıkları saptanmıştır. Kesikli/süreksiz şehir yapısı ve sürekli şehir yapısı sınıflarında bulunan alanların miktarları sırasıyla; 3,67 km<sup>2</sup> (% 0,51) ve 1,113 km<sup>2</sup> (% 0,155) olarak bulunmuştur. İlçede, seyrek bitki alanları 5,929 km<sup>2</sup> (% 0,824) yüzölçümü kaplarken, bitki değişim alanları da 22,678 km<sup>2</sup> (% 3,15) yüzölçümü kaplamaktadır. Karışık tarım alanları 93,806 km<sup>2</sup> (% 13,031);



doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları da 67,53 km<sup>2</sup> (% 9,381) yüzölçümlerine sahiptirler. Bulancak'ta mera alanları, su yolları ve çıplak kayalıkların yüzölçümleri sırasıyla; 3,011 km<sup>2</sup> (% 0,418), 1,371 km<sup>2</sup> (% 0,19) ve 0,997 km<sup>2</sup> (% 0,138) olarak saptanmıştır. Turan ve Dengiz (2021), CORINE-2018 arazi kullanım, arazi örtüsü haritasının alansal ve oransal değerlerine göre, Çorum Çayı Havzası'nda % 24,7 ile sulanmayan ekilebilir alanların en geniş yer kapladığını belirtmişlerdir. Karışık ormanların % 1,5; doğal çayırlıkların % 7,0; meyve bahçelerinin % 0,4; meraların % 1,3; karışık tarım alanlarının % 5,0; doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanlarının % 11,9; geniş yapraklı ormanların % 7,7; iğne yapraklı ormanların % 1,5; bitki değişim alanlarının % 12,1; seyrek bitki alanlarının % 5,3 ve su kütlelerinin % 0,2 oranlarında alanlar kapladıklarını saptamışlardır. Kesikli ve sürekli şehir yapılarının oransal alan değerlerini sırasıyla % 1,3 ve % 0,4 olarak bulmuşlardır. Çorum Çayı Havzası'nda elde edilen oransal değerler; Bulancak'ta yapılmış olan bu çalışmadaki oransal değerler ile farklılıklar göstermektedir.

CORINE arazi örtüsü 2018 verilerine göre Bulancak'taki bu araştırmada, orman ve yarı doğal alanlar (karışık, geniş yapraklı ve iğne yapraklı ormanlar, doğal çayırlıklar, çıplak kayalıklar, seyrek bitki alanları ve bitki değişim alanları) toplam 429,918 km<sup>2</sup> (% 59,72); tarımsal alanlar (meyve bahçeleri, mera alanları, karışık tarım alanları, doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları) toplam 283,602 km<sup>2</sup> (% 39,395); yapay bölgeler (kesikli/süreksiz ve sürekli şehir yapıları) toplam 4,783 km<sup>2</sup> (% 0,664) ve su yapıları (su yolları, deniz ve okyanus) toplam 1,583 km<sup>2</sup> (% 0,22) yüzölçümlerine sahip bulunmuşlardır. Bulut ve ark. (2019), 2018 senesine ait İzmir CORINE birinci düzey arazi örtüsü sınıflarını; yapay bölgeler, tarımsal alanlar, ormanlar, sulak alanlar ve su kütleleri olarak bulmuşlardır. Sarı ve Özşahin (2016), Tekirdağ'ın 2000-2015 yılları arasındaki AKAÖ (Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü) özelliklerini CORINE sistemine göre incelemişlerdir. İldeki en yaygın arazi kullanım sınıfının üçüncü düzeydeki kuru tarımın yapıldığı araziler olduğunu ve bu alanlarda çeşitli tahıl türlerinin yetiştirildiğini belirlemişlerdir. Sahada inşa edilen baraj veya göletlerin artışıyla birlikte sulanabilir arazilerin genişlemesinin sonucu olarak, kuru tarımın yapıldığı arazilerin alansal olarak küçüldüğünü saptamışlardır.



Şekil 6. Balıkesir ilinin CORINE arazi örtüsü 2018 haritası

Tablo 6. Balıkesir ilindeki arazi örtüsü sınıflarının (CORINE 2018) alanları ve payları

Arazi Örtüsü Sınıfları	Arazi Örtüsü Alanı (km <sup>2</sup> )	Payı (%)
Meyve Bahçeleri	119,255	16,566
Geniş Yapraklı Ormanlar	68,059	9,454
Kesikli/Süreksiz Şehir Yapısı	3,67	0,51
Karışık Ormanlar	163,822	22,757
Seyrek Bitki Alanları	5,929	0,824
Karışık Tarım Alanları	93,806	13,031
Bitki Değişim Alanları	22,678	3,15
Mera Alanları	3,011	0,418
Doğal Çayırliklar	103,136	14,327
Su Yolları	1,371	0,19
Doğal Bitki Örtüsü İle Birlikte Bulunan Tarım Alanları	67,53	9,381
Sürekli Şehir Yapısı	1,113	0,155
İğne Yapraklı Ormanlar	65,297	9,07
Çıplak Kayalıklar	0,997	0,138
Deniz ve Okyanus	0,212	0,029

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Ülkemizde Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer alan Giresun ilinin Bulancak ilçesinde yürütülmüş olan bu çalışmada, 0-1.200 m arasında yükseltiye sahip olan alanlarda fındık başta olmak üzere çeşitli meyve-sebze ve tarla bitkileri yetiştiriciliği yapmanın uygun olduğu ve aynı zamanda bu alanlarda tarla ve/veya sera denemeleri kurulmak suretiyle tarımı yapılabilecek alternatif tarımsal ürünlerin belirlenebileceği düşünülmektedir. 1.200-1.500 m yükselti grubunda yer alan araziler için en uygun tarımsal faaliyetlerin belirlenmesinde tarımsal etüt çalışmaları faydalı olabilecektir. 1.500 m ve üzerinde yükselti değerlerine sahip alanlar hayvancılık faaliyetleri kapsamında değerlendirilebilir. Bulancak ilçesinde tarımsal faaliyetlerin önünde en büyük engel teşkil eden arazi özelliğinin eğim olduğu belirlenmiştir. İlçe yüzölçümünün % 80,332'si gibi çok büyük bir rakama denk gelen dik (% 20+) eğim grubundaki araziler tarımsal faaliyetler için uygun bulunmamıştır. Özellikle bu alanlarda, erozyonla yoğun şekilde mücadele edebilmek ve canlı çeşitliliğini koruyabilmek için, ağaçlandırma faaliyetleri uygulanmasının ve doğal bitki örtüsünün koruma altına alınmasının önemli olacağı düşünülmektedir. İlçede, orta eğim grubunda yer alan arazilerin tarıma elverişli hale getirilmesi için ekim nöbeti, uygun toprak işleme, malçlama ve teraslama gibi koruyucu tedbirler uygulanabilir. Hafif eğim grubunda sınıflandırılan alanların tarımsal faaliyetler için uygun olduğu düşünülmektedir. Tarım arazileri dışında kalan ve hafif eğim grubunda olan diğer araziler de yerleşim, sanayi, turizm, altyapı, rekreasyon gibi amaçlar için değerlendirilebilir. Ancak bunun için toprak ve su kaynaklarının korunması, arazilerin amaçları doğrultusunda kullanımı gibi önemli durumların dikkate alınması yerinde olacaktır.

Bulancak'ta, % 43,759'luk yüzölçümüne sahip olan güney bakı grubundaki alanlarda tarımsal üretim işletmelerinin enerji gereksinimleri için ve özellikle de tarımsal sulama alanında gerekli olan enerjiyi elde edebilmek için güneş enerjisi sistemlerinin kullanılması ile hem temiz enerji, hem de elektrik giderlerinden tasarruf sağlanabilecektir. Kuzey bakı grubunda bulunan alanlarda ise (% 56,214), özellikle tarım faaliyetlerinin planlanması aşamalarında yörede etkili olabilecek yağış, nem, yağışlı gün sayısı gibi iklim parametrelerine dikkat edilmesi ve sel, taşkın riskinin her zaman göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Tüm dünyada arazilerin yanlış ve amaç dışı kullanılmaları, doğal kaynakların tahrip edilmesi, çevre kirliliği, yerleşim ve sanayi alanlarının hatalı planlanmaları gibi sebeplerle tarım, orman ve çayır-mera alanlarının azalmasının, şu anda olduğu gibi gelecekte de canlı yaşamını olumsuz yönde etkileyecek olması kaçınılmazdır. CORINE arazi örtüsü 2018 verileri değerlendirildiğinde, Bulancak ilçesinin % 59,72'lik kısmını kaplayan orman ve yarı doğal alanlar ile % 39,395'lik yüzölçümüne sahip tarımsal alanların, korunması ve sürdürülebilirliklerinin sağlanması kapsamında gerekli çalışmaların (yasal önlemler, ağaçlandırma,

erozyonla mücadele, toprak yönetimi v.s.) yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. % 0,22 oranında alan kaplayan su yapıları için de koruma önlemlerinin alınması gereklidir.

Var olan arazileri amaçları doğrultusunda kullanmak için arazi özelliklerinin belirlenmesi, haritalanması ve her arazi tipine uygun şekilde amenajman yöntemlerinin saptanarak uygulanması gerekliliği çok önemli bir gerçektir. Aynı zamanda herhangi bir yöreye ait iklim, topoğrafya, toprak ve su kaynakları gibi önemli değerlerin de ayrıntılı bir şekilde araştırılması ve bunların korunmasına yönelik tedbirlerin alınması elzem bir durumdur. Bulancak ilçesindeki tarım arazileri için, özellikle arazi niteliklerinin belirlenmesi, yerinde arazi gözlemlerinin yapılması, toprak haritalama çalışmaları, toprak, bitki ve sulama suyu analizleri yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu araştırmadaki değerli katkılarından dolayı Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali Dereli'ye teşekkür ederim.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Acar, C., Var, M., ve Altun, L. (2001). Trabzon ve yöresinin kayalık ortamlarında yetişen örtü bitkileri üzerine ekolojik bir araştırma. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 11(41), 20-28.
- Akkuş, A. (2021). *Genel fiziki coğrafya* (5. basım). Nobel Yayın No: 1348, Ankara, 138 s.
- Anonim, (1987). *Türkiye genel toprak amanjman planlaması (Toprak koruma ana planı)*. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, Ankara, 105 s.
- Anonim, (2021a). *Giresun Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü Verileri*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Giresun / Türkiye.
- Anonim, (2021b). *Türkiye Mülki İdare Sınırları Verileri*. T.C. Milli Savunma Bakanlığı, Harita Genel Müdürlüğü, Ankara / Türkiye, <https://www.harita.gov.tr/urun/turkiye-mulki-idare-sinirlari/232> (Erişim Tarihi: 11 Kasım 2021).
- Anonim, (2022). *Corine Projesi Arazi Örtüsü Sınıfları*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara / Türkiye, <http://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/araziortususiniflari.html> (Erişim Tarihi: 09 Haziran 2022).
- Atmaca, B. (2021, December). Bazı arazi özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi ve tarım açısından değerlendirilmesi: Giresun ili Şebinkarahisar ilçesi örneği. *ISPEC 8th International Conference on Agriculture, Animal Sciences and Rural Development*, Proceedings Book: (pp. 830-846). Bingöl: Bingöl University, Turkey. (24-25 December 2021).
- Avcı, V., ve Sunkar, M. (2018). Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak derelerinin morfolojik analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28(2), 15-41.
- Bajjali, W. (2018). *ArcGIS for environmental and water issues*. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment, p. 353.

- Başayığıt, L., ve Şenol, H. (2008). Meyve yetiştirme potansiyeli yüksek alanların coğrafi bilgi sistemleri ortamında belirlenebilirliği ve uzaktan algılama metodu ile kontrolü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 1-8.
- Bayar, R., ve Karabacak, K. (2017). Ankara ili arazi örtüsü değişimi (2000-2012). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 15(1), 59-76.
- Bayındır, F. (2006). *Malatya ilindeki genel arazi kullanımının yükselti kuşaklarına göre değişimi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Bulut, H., Darende, V. C., Demirörs, Z., Alan, İ., Kaya, Ş., Bilgin, N., Öztaş, Z., ve Gürçayır, E. (2019, Kasım). 2018 yılı İzmir meteorolojik radar verilerinin zamansal ve Corine arazi sınıflarına göre değişiminin coğrafi bilgi sistemleri ile analizi. *IV. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu (UZALMET 2019)*, Antalya, Türkiye. (11-15 Kasım 2019).
- Değerliurt, M., ve Çabuk, S. N. (2015). Coğrafyayı coğrafi bilgi sistemleri ile tanımlamak. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 20(33), 37-48.
- Demir, M., Yıldız, N. D., Bulut, Y., Yılmaz, S., ve Özer, S. (2011). Alan kullanım planlamasında potansiyel tarım alanlarının ölçütlerinin coğrafi bilgi sistemleri (Cbs) yöntemi ile belirlenmesi (İspir örneği). *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(3), 77-86.
- Duran, C., ve Günek, H. (2010). Mersin kenti kuzeyi akarsu havzalarındaki ekolojik faktörlerin bitki örtüsüne etkisi. *Biological Diversity and Conservation*, 3(3), 137-152.
- European Environment Agency (EEA), (2021). *Copernicus Land Monitoring Service - Corine Land Cover, CLC 2018*. Available from URL: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018/fetch-land-file?hash=4ecde146e6ca8dd7a42f68a9f5370153d9731a95> (Date of Access: 11 December 2021).
- Gençer, M., Başayığıt, L., ve Akgül, M. (2015). Eğirdir Gölü koruma zonları CORINE arazi kullanım sınıflaması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, 26-38.
- Karabacak, K. (2021). Tarımsal arazi kullanım uygunluğu analizi: Lefkoşa ilçesi (KKTC) örneği. *SDÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 52, 312-331.
- Karaca, S., Sarğın, B., ve Türkmen, F. (2019). Bazı arazi ve toprak niteliklerinin coğrafi bilgi sistem analizleriyle incelenmesi: Van ili arazi ve toprak özellikleri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 199-205.
- Karademir, N., Nacar, Ş., ve Bilinir, Ş. (2020). Andırın ilçesinde (Kahramanmaraş) arazi kullanımının yükselti basamaklarına göre değişimi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 668-688.
- Koca, S., ve Mentеше, S. (2020). Eskişehir merkez ilçelerinde (Odunpazarı ve Tepebaşı) topografik faktörlere göre yerleşimin dağılışı. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(2), 217-228.
- Öztürk, D., İslam, A., Turan, A., ve Köse, M. A. (2021). Bulancak ilçesinde tarımsal işletmelerin ve üretim faaliyetlerinin incelenmesi. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(24), 148-163.
- Sarı, H., ve Özşahin, E. (2016). CORINE sistemine göre Tekirdağ ilinin AKAÖ (Arazi kullanımı/Arazi örtüsü) özelliklerinin analizi. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 30(1), 13-26.
- Sönmez, N., ve Sarı, M. (2004). Coğrafi bilgi sistemleri temel esasları ve uygulama alanları. *Derim*, 21(1), 54-68.
- Tekeş, A., ve Cürebal, İ. (2019). Arazi kullanımı ile yükselti ve eğim özellikleri arasındaki ilişkinin analizi: Şehzadeler (Manisa) ilçesi. *Turkish Studies Social Sciences*, 14(4), 1787-1806.
- Turan, İ. D., ve Dengiz, O. (2021). Çorum Çayı havzası topraklarının kabuk oluşum risk durumlarının belirlenmesi ve haritalanması. *Ege Coğrafya Dergisi*, 30(2), 289-298.
- TÜİK, (2022). *Bulancak İlçesinin 2021 Yılı Bitkisel Üretim İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara / Türkiye, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 09 Kasım 2022).
- USGS, (2022). *DEM Data (SRTM 1 Arc-Second Global/~30 meters)*. Available from URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Date of Access: 15 January 2022).
- Üstündağ, Ö. (2009, Kasım). Elazığ ilinde genel arazi kullanımının yükselti kuşaklarına göre değişimi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, İzmir. (02-06 Kasım 2009).
- Yılmaz, N., ve Han, E. (2016). Giresun ekolojik koşullarında bazı mısır çeşitlerinin tane verimi ve verim öğelerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 171-176.
- Yüksek, T., Özçelik, A. E., ve Verep, B. (2020). Fırtına havzasının bazı havza karakteristikleri ile arazilerin fizyografik özelliklere göre dağılımlarının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 439-449.

## **Determination of Phenological and Morphological Characteristics of Some Standard Pear Cultivars on Different Quince Clonal Rootstocks**

Tahsin KURT<sup>1</sup>, Ahmet ÖZTÜRK<sup>2\*</sup>, Zaki Ahmad FAİZİ<sup>3</sup>

### **Abstract**

This study was conducted to determine the effects of Quince BA29 (BA29), Quince A (QA), and Quince C (MC) rootstocks on phenological and morphological characteristics of ‘Deveci’, ‘Santa Maria’, ‘Abate Fetel’, and ‘Williams’ pear cultivars in Bafra (Samsun) ecological conditions between 2020-2021 years. It has been determined that the effect of rootstocks and cultivars on phenological characteristics was significant. In the study, the earliest flowering and harvest were in ‘Abate Fetel’, the latest flowering was in ‘Williams’, and the latest harvest was in the ‘Deveci’ cultivar. The highest rootstock diameter, trunk diameter and tree height were in BA29 and the lowest in MC rootstock. The highest canopy volume was determined in the ‘Santa Maria’ cultivar and the lowest in the ‘Williams’ cultivar. The effect of rootstocks and cultivars on leaf area was significant and the highest leaf area was determined in ‘Santa Maria’/QA combination. Annual shoot length of the MC rootstock was lower than the other rootstocks. It is thought that it would be more appropriate to continue the research for a long time to determine the most suitable cultivar/rootstock combination as a result of the data obtained due to the young trees of the plants where the research was carried out.

**Keywords:** Rootstock, Pear, Cultivar, Phenology, Morphology.

## **Farklı Ayva Klon Anaçları Üzerine Aşılı Standart Bazı Armut Çeşitlerinin Fenolojik ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi**

### **Öz**

Bu çalışma, Bafra (Samsun) ekolojik koşullarında Quince BA29 (BA29), Quince A (QA) ve Quince C (MC) ayva klon anaçlarının ‘Deveci’, ‘Santa Maria’, ‘Abate Fetel’ ve ‘Williams’ armut çeşitlerinin fenolojik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla 2020-2021 yılları arasında yürütülmüştür. Çalışmada erken çiçeklenme ve hasat ‘Abate Fetel’, en geç çiçeklenme ‘Williams’, en geç hasat ise ‘Deveci’ çeşidinde olmuştur. En yüksek anaç çapı, gövde çapı ve ağaç boyunun BA29 en düşük ise MC anacında olduğu belirlenmiştir. En yüksek taç hacmi ‘Santa Maria’ en düşük ise ‘Williams’ çeşitlerinde belirlenmiştir. Yaprak alanı üzerine anaçların ve çeşitlerin etkisi önemli olup en yüksek yaprak alanı ‘Santa Maria’/QA kombinasyonunda belirlenmiştir. MC anacının yıllık sürgün uzunluğunun diğer anaçlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Araştırmadan elde edilen verilerin sonucunda en uygun çeşit/anaç kombinasyonunun belirlenmesi için araştırmanın uzun süre devam ettirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Anaç, Armut, Çeşit, Fenoloji, Morfoloji.

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs University, Post Graduate Institute, Horticulture Department, Samsun, Turkey, tahsinkurt88@gmail.com

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Horticulture Department, Samsun, Turkey, ozturka@omu.edu.tr

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs University, Post Graduate Institute, Horticulture Department, Samsun, Turkey, Zaky.faizi1369@gmail.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1574-4083>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8800-1248>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1429-6493>

## 1. Introduction

Pear is one of the most grown and consumed pome fruits worldwide after apple. *Pyrus communis* L. is one of the most important pear species in terms of fruit growing techniques (Orman 2005). Pear is more resistant to heat and drought than apples but less resistant to cold than apple trees. Spring late frosts limit pear cultivation. Pear can withstand up to -30 °C, but shoot tips are damaged in long-term cold situations. Pear flowers are damaged at -2.2 °C, while small fruits are damaged at 1.1 °C (Özçağiran et al., 2005). In order to be able to establish modern fruit orchards, it has been one of the important conditions to use rootstocks that provide stunting. Therefore, especially since the second half of the 20<sup>th</sup> century, the desired characteristics of rootstocks and cultivars in orchards have changed (Öztürk et al., 2013; Bolat and İkinci, 2019; Kurt et al., 2022). Among the most important reasons for the widespread use of rootstock in fruit trees are their adaptation to adverse climatic and soil conditions, increased fruit quality and yield, and high tolerance to diseases and pests (Carso and Bonghi, 2014). Sydo, QA, and BA29 quince clonal rootstocks, are widely used by European pear growers to establish standard pear orchards. While in densely planted high-density gardens, the Adams and MC are mostly preferred (Simard et al., 2004; Dondini and Sansavini, 2012). In order to obtain optimum vegetative and generative development from fruit trees, appropriate planting density, correct rootstock selection, and appropriate ecology are important strategies (Pasa et al., 2015; Hepaksoy, 2019). BA29 was selected from Province quinces at the fruit breeding station in France in 1963. It forms a canopy about 50% higher than standard quince rootstocks and shows slightly stronger growth than QA and OHF333 rootstocks. The propagation rate of BA29 is slow, but the yield efficiency is high. Although it is resistant to pear powdery mildew and root cancer, but has poor tolerance to leaf spot and fire blight diseases. BA29 is resistant to pear dent and cotton louse, and dwarf trees can be obtained by dense planting. BA29 rootstocks are well compatible with 'Williams' but not with 'Beurre Bosc' and 'Dr Jules Guyot' cultivars (Jackson, 2003; Özçağiran et al., 2005). QA is one of the oldest quince rootstocks and was selected in the International East Malling Horticulture Research Station. This rootstock can be easily propagated by layering. Due to winter cold in Spain, France, and Italy, Sydo rootstocks instead of QA have recently become more prominent, but the use of QA rootstock is common yet (Dondini and Sansavini, 2012). MC rootstock is one of the oldest quince rootstocks which selected in the International East Malling Horticulture Research Station. Its growth is lower as compared to QA, and easier to propagate. It must be cultivated carefully in the soil as the root system is exposed and superficial and fragile, so it needs a supporting system (Dondini and Sansavini, 2012). This study was carried out to determine the effect of quince clonal rootstocks on the phenological and

morphological properties of ‘Deveci’, ‘Williams’, ‘Santa Maria’ and ‘Abate Fetel’ pear cultivars, which have an important place in pear cultivation of Türkiye.

## **2. Materials and Methods**

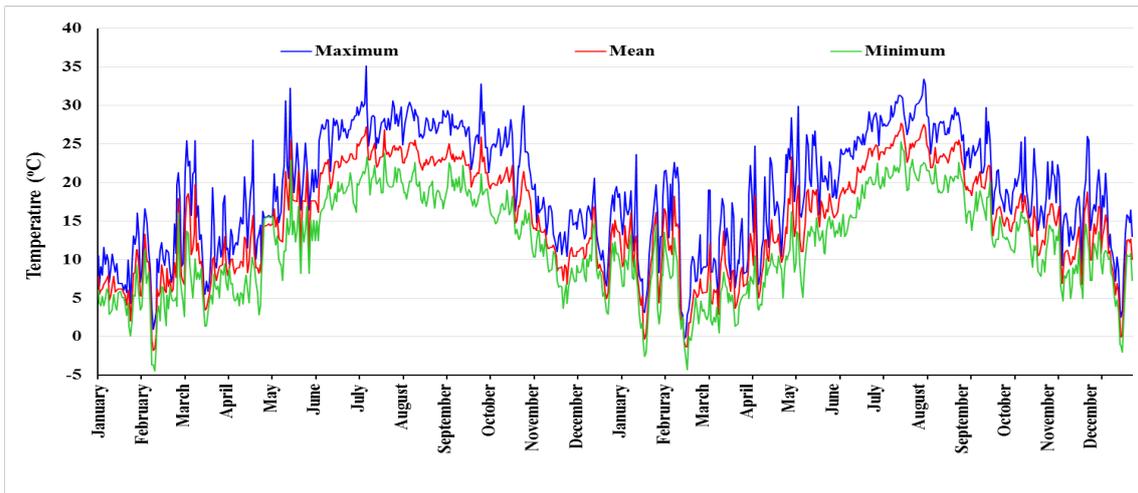
### **2.1. Materials**

In the experiment BA29, QA, and MC as clonal rootstocks were used. While, Deveci, Williams, Santa Maria, and Abate Fetel as cultivars that have an important share in pear cultivation on Türkiye.

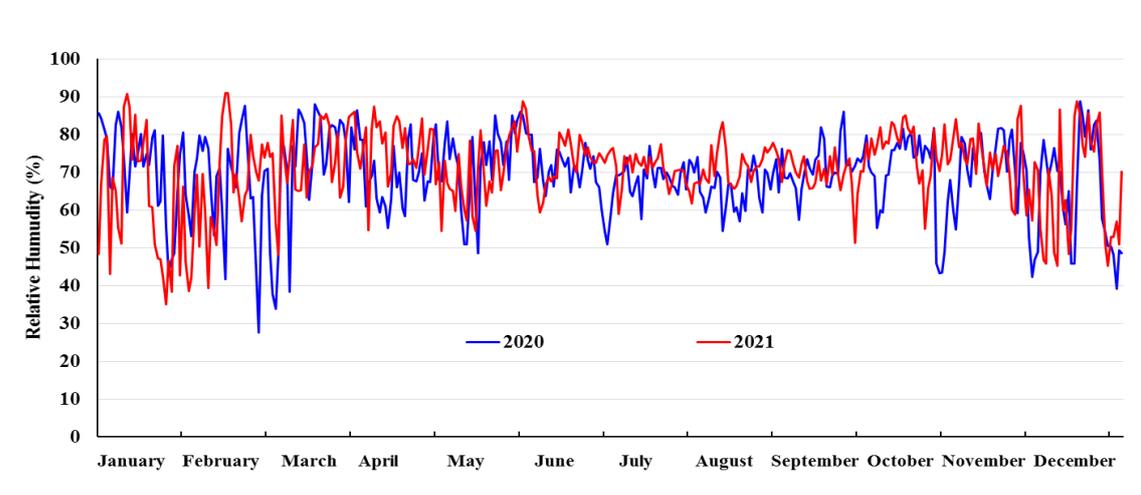
### **2.2. Characteristics of Experiment Area**

Soil of the research area included 2.73 - 10% clay (low), 13.21 - 20% silt (medium), 6.5 - 20% sand (moderate), pH 7.5 (slightly alkaline), 0.2 - 0.3 dS/m salt (no salt), 0.3 - 0.5 organic matter (low), 3 - 6% lime (CaCO<sub>3</sub>) (low), 0.03 - 0.06 N (low), 5 - 10 ppm P (moderate) level, and soil depth is more than 1 m. The typical Black Sea climate is seen in the district of Bafra, with cool summers and slightly cold and rainy winters (about 750 - 1000 mm per year). Hot and dry winds blowing from the south and southwest directions in the district reduce the humidity, and the average relative humidity of Bafra is about 73%. Especially in April and May, relative humidity reaches 77 - 79% on average. Since absolute humidity is directly proportional to temperature, it reaches the highest value of 28% in summer. The highest precipitation in the district falls in November, and the least precipitation falls in May. The average annual precipitation is around 700 mm, and the average number of rainy days per year is 100 days (TSMS, 2022). The study area temperature (max, min and average in °C), relative humidity (%), and monthly total precipitation (mm) values are presented in Figure 1, Figure 2, and Figure 3.

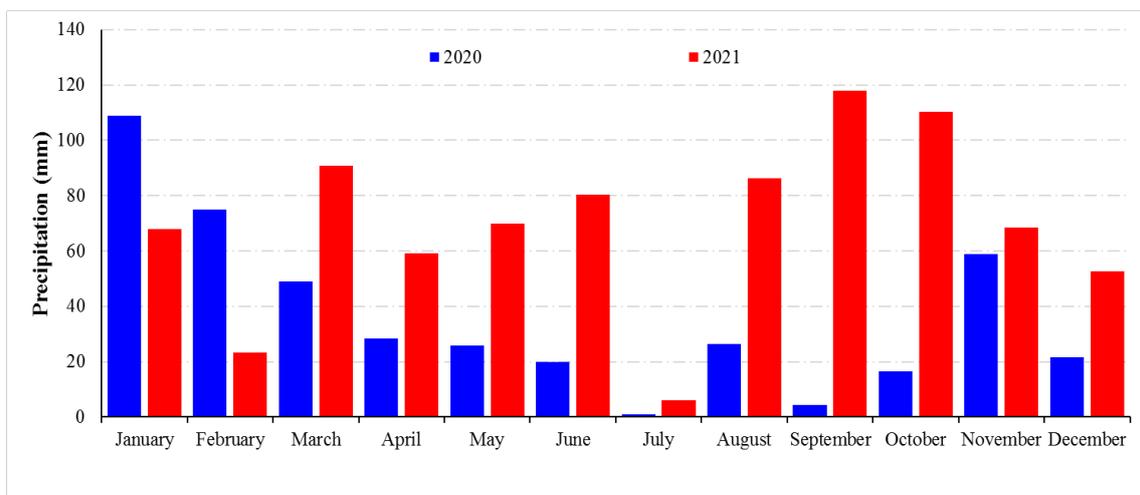




**Figure 1.** Daily temperature (°C) values recorded in the trial area during the research period.



**Figure 2.** Daily relative humidity (%) values recorded in the trial field during the research period.



**Figure 3.** Monthly total precipitation (mm) values recorded in the trial area during the research period.

### **2.3 Methods**

The research was carried out at the Bafra agricultural research center of Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, in the pear orchard established with 1-year-old saplings in March 2018, and saplings were planted at 1.5 m x 3.5 m spacing. The plants were supported with metal poles at the height of 3.5 m, with 4 rows of galvanized wires on the horizontal arms 50 cm from the ground. Modified central leader applied as training system and regularly every year trees were pruned. In the study, the plants were irrigated with drip irrigation between 15 May and 15 September. Fertilization was done by drip irrigation with 15 - 30 - 15 + ME fertilizer at the beginning of summer and 20 - 20 - 20 NPK fertilizer in autumn. Weed control was carried out by mulching ground on the row and regularly breaking the weeds with a rotovator between the rows.

### **2.4. Phenological Observations**

Bud burst, first flowering, full flowering, end of flowering, fruit set, the number of days between full bloom and harvest, harvest date, and leaf fall were determined according to previous studies as phenological observations (Büyükyılmaz et al., 1994; Orman, 2005).

### **2.5. Morphological Observations**

Rootstock diameter (mm), trunk diameter (mm), tree height (cm), canopy width (cm), canopy length (cm), canopy height (cm), canopy volume (m<sup>3</sup>), trunk cross sectional area (cm<sup>2</sup>), leaf width (cm), leaf length (cm), petiole length (cm), petiole thickness (mm), leaf area (cm<sup>2</sup>), annual shoot length (cm) were determined according to previous studies as morphological observations (Westwood, 1995; Öztürk and Öztürk, 2014).

### **2.6. Statistical Analysis**

The research was carried out according to the randomized blocks design, with 4 cultivars, 3 rootstocks, 3 replications, and 10 plants in each replication. The obtained data were analyzed in the IBM SPSS 21.0 statistical package program licensed by Ondokuz Mayıs University. The differences between the obtained averages were determined according to Duncan Multiple Comparison Test at the 5% level ( $p > 0.05$ ).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Phenological characteristics

The results of the observations regarding the bursting of vegetative bud, bursting of flower bud, first flowering, full flowering, end of flowering, fruit set, harvest date, number of days from full flowering to harvest and the leaf fall date were given in Table 1 and Table 2. In the research, the bursting of flower buds in 2020 occurred between 6-20 March. Flower bud bursting occurred earliest on 'Abate Fetel' (6 March) on MC rootstock and latest on 'Williams' (20 March) on BA29 and MC rootstocks. The vegetative buds bursting took place between 10 - 30 March. The earliest vegetative bud bursting occurred in 'Abate Fetel' cultivar grafted on MC rootstock on March 10, and the latest on March 30 in BA29 and MC rootstocks in the same cultivar. The first flowering took place between 30 March to 10 April. The first flowering occurred on 'Abate Fetel' on QA at the earliest (30 March), and the latest on 'Williams' cultivar on QA in 10 April. Full flowering occurred on 10-20 April, earliest (April 10) observed on 'Abate Fetel' on BA29 and MC rootstock, and latest (April 20) on 'Williams' on BA29, QA and MC. The end of flowering in cultivars occurred between 15-26 April. The earliest flowering (15 April) of 'Abate Fetel' was observed on BA29 and MC, while the latest flowering occurred in 'Williams' on QA rootstock on 26 April. The fruit set was occurred between 22 April - 3 May. The earliest fruit set occurred on April 23 in Abate Fetel grafted on BA29 and MC rootstocks, and the latest recorded in 'Williams' grafted on QA rootstock on 3 May. The number of days from full flowering to harvest varied between 117-184 days. In the study, the number of days from full bloom to harvest was determined to be the lowest (117 days) in 'Santa Maria' grafted on BA29 rootstock, while the highest (184 days) in 'Deveci' grafted on QA. Fruit harvesting of the examined cultivars was carried out between 10 August to 13 October. The earliest harvest was made in the 'Santa Maria' cultivar on 10 August, while the latest in 'Deveci' cultivar on 13 October on all rootstocks. The leaf shedding date occurred between 23 and 27 November. It was determined that the earliest defoliation occurred on 23 November in 'Williams' and 'Santa Maria' on all rootstocks examined and the latest on November 27 in Abate Fetel and Deveci cultivars on all rootstocks (Table 1).

**Table 1.** Phenological observation dates of some pear cultivars grafted on quince clonal rootstocks in 2020.

Rootstocks	Cultivars	FBBD	VBBD	FiFD	FuFD	LFD	FSD	HD	DFFBTH	LFD
BA29	Deveci	08 Mar.	12 Mar.	07 Apr.	15 Apr.	20 Apr.	28 Apr.	13 Oct.	182	27 Nov.
	Williams	20 Mar.	30 Mar.	08 Apr.	20 Apr.	24 Apr.	02 May.	08 Sep.	142	23 Nov.
	Santa Maria	09 Mar.	14 Mar.	04 Apr.	16 Apr.	20 Apr.	28 Apr.	10 Aug.	117	23 Nov.
	Abate Fetel	07 Mar.	12 Mar.	01 Apr.	10 Apr.	15 Apr.	22 Apr.	08 Sep.	152	27 Nov.
QA	Deveci	08 Mar.	12 Mar.	07 Apr.	13 Apr.	20 Apr.	28 Apr.	13 Oct.	184	27 Nov.
	Williams	20 Mar.	27 Mar.	10 Apr.	20 Apr.	26 Apr.	03 May.	08 Sep.	142	23 Nov.
	Santa Maria	08 Mar.	12 Mar.	09 Apr.	14 Apr.	20 Apr.	27 Apr.	10 Aug.	119	23 Nov.
	Abate Fetel	07 Mar.	12 Mar.	30 Mar.	11 Apr.	16 Apr.	23 Apr.	08 Sep.	151	27 Nov.
MC	Deveci	08 Mar.	12 Mar.	07 Apr.	18 Apr.	20 Apr.	28 Apr.	13 Oct.	179	27 Nov.
	Williams	19 Mar.	30 Mar.	08 Apr.	20 Apr.	25 Apr.	02 May.	08 Sep.	142	23 Nov.
	Santa Maria	08 Mar.	12 Mar.	07 Apr.	15 Apr.	20 Apr.	28 Apr.	10 Aug.	118	23 Nov.
	Abate Fetel	06 Mar.	10 Mar.	04 Apr.	10 Apr.	15 Apr.	22 Apr.	08 Sep.	152	27 Nov.

\*: **FBBD**: flower bud burst date, **VBBD**: wood bud burst date, **FiFD**: first flower date, **FuFD**: full flower date, **LFD**: last flower date, **FSD**: fruit set date, **HD**: harvest date, **DFFBTH**: days from full bloom to harvest, **LFD**: leaf fall date.

Flower buds burst dates in 2021 recorded from 22 March to 21 April. Flower buds burst observed earliest on ‘Abate Fetel’ on MC and BA29 rootstocks (22 March), and latest (21 April) in ‘Williams’ on BA29, MC and QA rootstocks. The wood bud burst date ranged between 7 and 26 April. The earliest (7 April) wood bud bursting was in the ‘Abate Fetel’, grafted on MC and BA29 rootstocks, and the latest (26 April) in ‘Williams’ on all rootstocks. The first flowering dates occurred between 15 - 29 April. The first flowering occurred earliest (15 April) in ‘Abate Fetel’ on QA and MC rootstocks, and the latest on 29 April in ‘Williams’ on all rootstocks. Full flowering took place between 21 April and 3 May. The end of flowering in cultivars occurred from 29 April to 7 May. The earliest flowering end on 29 April served in ‘Abate Fetel’ grafted on BA29 and MC, the latest on 7 May in ‘Deveci’ cultivar grafted on MC. The days from full bloom to harvest were recorded between 105 and 171 days. The lowest number of days from full bloom to harvest was determined in ‘Santa Maria’ grafted on BA29 and QA rootstocks (105 days), and the highest (175 days) in ‘Deveci’ grafted on QA (Table 2).

**Table 2.** Phenological observation dates of some pear cultivars grafted on quince clonal rootstocks in 2021.

Rootstocks	Cultivars	FBBB	WBBB	FiFD	FuFD	LFD	FSD	HD	DFBTH	LFD
BA29	Deveci	13 Apr.	19 Apr.	26 Apr.	3 May.	5 May.	7 May.	21 Oct.	171	16 Nov.
	Williams	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	3 May.	7 May.	10 May.	13 Sep.	133	13 Nov.
	Santa Maria	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	3 May.	7 May.	10 May.	16 Aug.	105	5 Nov.
	Abate Fetel	22 Mar.	7 Apr.	15 Apr.	21 Apr.	29 Apr.	5 May.	13 Sep.	145	1 Nov.
QA	Deveci	15 Apr.	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	7 May.	9 May.	21 Oct.	175	16 Nov.
	Williams	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	3 May.	7 May.	10 May.	13 Sep.	133	13 Nov.
	Santa Maria	13 Apr.	21 Apr.	26 Apr.	3 May.	7 May.	9 May.	16 Aug.	105	5 Nov.
	Abate Fetel	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	3 May.	5 May.	9 May.	15 Sep.	135	1 Nov.
MC	Deveci	13 Apr.	21 Apr.	26 Apr.	3 May.	7 May.	10 May.	21 Oct.	171	16 Nov.
	Williams	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	3 May.	5 May.	10 May.	15 Sep.	135	13 Nov.
	Santa Maria	15 Apr.	21 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	3 May.	5 May.	16 Aug.	112	5 Nov.
	Abate Fetel	22 Mar.	7 Apr.	15 Apr.	26 Apr.	29 Apr.	5 May.	13 Sep.	140	1 Nov.

\*: **FBBB**: flower bud burst date, **WBBB**: wood bud burst date, **FiFD**: first flower date, **FuFD**: full flower date, **LFD**: last flower date, **FSD**: fruit set date, **HD**: harvest date, **DFBTH**: days from full bloom to harvest, **LFD**: leaf fall date.

It has been determined that the phenological observations made in the research showed significant differences according to the years, and some differences according to the rootstocks and cultivars. We can say that the difference between the years was due to the climatic differences in the research years. The research determined that the temperature values in February and March, when the plants came out of rest and growth began, were slightly lower in 2021 compared to 2020 (Figure 1). The rootstocks observed that the cultivars grafted on MC caused earlier dormancy compared to others. It was observed that the ‘Abate Fetel’ cultivar started to develop vegetatively earlier than other cultivars. Mixed buds are produced in the pome fruit species; the buds that open the flowers burst earlier than the wood buds. As a matter of fact, in our study, it was determined that flower buds burst earlier than wood buds. No apparent differences between rootstocks regarding harvest date were observed, while the differences between cultivars were noticeable. It was observed that the cultivar with the earliest fruit harvest was ‘Santa Maria’, and the latest was ‘Deveci’. It can be said that this situation is caused by the difference in genetic structures of the trees. Indeed, in previously performed studies on similar subjects, it was stated that the phenological differences between cultivars were mainly due to genetic differences, as well as the environmental conditions that trees are grown (Özbek 1977; Büyükyılmaz et al., 1994; Jackson, 2003; Akçay et al., 2009; Ertürk et al., 2009; Kaplan 2011; Dondini and Sansavini, 2012; Osmanoğlu et al., 2013; Bağcı 2015; Öztürk et al., 2016; Çoban 2019; Mete 2019; Öztürk et al., 2022). In hot and dry weather, all

the flowers on the tree open in a short time, and in cool and rainy weather, flowering continues on the same tree for 2-10 days (Özbek, 1977; Özçağiran et al., 2005). Our research observed that the temperature (Figure 1) and humidity (Figure 2) values in April and May, when flowering occurs, were higher in 2021 than in 2020. The high temperature in 2021 caused a shortening of the flowering period. It has been observed that the phenological characteristics we obtained regarding the cultivars are compatible with the results obtained from other studies.

### 3.2. Morphological Characteristics

In the research, the effects of year, rootstock, cultivar, and rootstock x cultivar interactions on rootstock diameter, trunk diameter, tree height, trunk cross-sectional area, and canopy volume of grafted pear cultivars on different quince rootstocks, were found to be significant. However, it was observed that the rootstock effect was not significant in the study on canopy volume (Table 3). From rootstock diameter, it was determined that the rootstock averages varied between 30.20 - 38.98 mm. The highest rootstock diameter was determined in BA29 (38.98 mm) and the lowest in MC (30.20 mm) rootstock. The study determined that the rootstock diameter ranged between 25.18 - 41.75 mm in terms of cultivar averages. It was determined that 'Deveci' had the highest (41.75 mm) rootstock diameter and 'Williams' cultivar had the lowest (25.18 mm). It has been determined that rootstock diameter in 2021 was higher (38.92 mm) than in 2020 (30.79 mm) in terms of years' average. In terms of rootstock x cultivar interactions, it was determined that the highest rootstock diameter was in 'Deveci'/BA29 (46.67 mm) and the lowest in 'Williams'/MC (16.27 mm) combinations (Table 3). Francescatto et al. (2010) reported that rootstock diameter was the lowest in EMC rootstock in 'Packham's pear variety grafted on 7 different rootstocks. Likewise, Öztürk and Öztürk (2014) reported that the highest rootstock diameter was in BA29 and the lowest in MC rootstocks. Different researchers also reported that the effect of rootstocks on rootstock diameter was significant (Giacobbo et al., 2010; Machado et al., 2016; Rahman et al., 2017). Çetinbaş et al. (2018) stated that the effect of rootstocks and cultivars on rootstock diameter was significant; rootstock diameter was observed higher in 'Deveci' than in 'Santa Maria' in terms of cultivars. They found that it was higher in OHF 333, BA29, OHF 69, and MC rootstocks than in the other rootstocks examined. Rootstock diameter of the Deveci pear cultivar grafted on BA29, MC, and seedling rootstocks changed in terms of research years and rootstocks and reported lowest in the MC clonal rootstock than others (Öztürk, 2021).

The stem diameter in rootstock averages varied between 25.98 - 33.30 mm. The highest stem diameter was determined in BA29 (33.30 mm) and the lowest in MC (25.98 mm) rootstock. In terms of cultivar averages, it varied between 21.58 - 33.39 mm. The highest stem diameter was

found in 'Deveci' (33.39 mm), 'Santa Maria' (32.06 mm), and 'Abate Fetel' (31.40 mm), while the lowest (21.58 mm) in 'Williams' cultivars. In terms of rootstock x cultivar interaction, it was determined that the stem diameter ranged between 14.19-37.88 mm. The highest (37.88 mm) stem diameter was observed in 'Deveci'/BA29 and the lowest (14.19 mm) in 'Williams'/MC combination (Table 3). The results of the stem diameter we obtained are compatible with similar studies previously performed (Castro and Rodriguez, 2002; Loreti et al., 2002; Sotiropoulos, 2006; Maas, 2008; Ertürk et al., 2009; Francescato et al., 2014; Öztürk and Öztürk 2014; Machado et al., 2016; Mete, 2019; Öztürk, 2021). It was emphasized in similar studies that the effects of rootstocks on the stem diameter of cultivars were significant. The stem diameter of the cultivars grafted on vigorous rootstocks was observed to be higher than on the weak rootstocks (du Plooy and van Huyssteen, 2000; Urbina et al., 2003; Jackson, 2003; Özçağiran et al., 2005; Hancock and Labous, 2008; Sugar and Basile, 2011; Dondini and Sansavini, 2012; Askari-Khorosgani et al., 2019).

Tree height in terms of rootstock averages varied between 153.93 - 184.18 cm. It was found that the highest tree height was on BA29 (184.18 cm), and the lowest was recorded on MC rootstock (153.93 cm). The study determined that the tree height varied between 142.73 - 191.34 cm in terms of cultivars. The highest tree height was determined in 'Santa Maria' (191.34 cm) and 'Deveci' (180.54 cm), and the lowest (142.73 cm) in the 'Williams' cultivar. In terms of rootstock x cultivar interactions, it was determined that the tree height varied between 111.83 - 198.43 cm. The highest tree height was determined in 'Deveci'/BA29 (198.43 cm) and the lowest (111.83 cm) in the 'Williams'/MC combinations (Table 3). Tree height reported that affected by the rootstocks and cultivars (Jackson, 2003; Giacobbo et al., 2010; Lepsis and Duredze, 2011; Dondini and Sansavini, 2012). The tree height of 'Abate Fetel' and 'Conference' cultivars grafted on BA29, MA, and pear seedling rootstocks. Castro and Rodriguez (2002) cited tree height being higher in pear seedlings than in the other rootstocks. According to research conducted in the Lithuania, it was reported that tree height was not statistically significant among QA, MC, Sydo, BA29, and *Pyrus communis* seedlings rootstocks (Kviklys and Kvikliene, 2004). It was reported that the tree height was 159 cm in the 'Williams' pear cultivar and 225 cm in the 'Deveci' cultivar grafted on QA rootstock (Akçay et al., 2009). Considering the performance of 'Seleta' pear cultivar on Adams, EMC and Portugal quince rootstocks and *Pyrus calleryana* pear seedling, Giacobbo et al. (2018) determined that all quince rootstocks reduced the cultivar tree height by 60% compared to *Pyrus calleryana* rootstock. It was determined that the highest plant height of the 'Deveci' cultivar was in BA29 rootstock and the lowest in MC rootstock (Öztürk, 2021). There were differences in tree height between the research years. It can be said that difference was due to the age of the trees (Gerçekçiöğlü et al., 2014).

Trunk cross-sectional area in terms of rootstock averages varied between 6.88 - 10.71 cm<sup>2</sup>. The highest trunk cross-sectional area was determined in BA29 (10.71 cm<sup>2</sup>), and the lowest in MC rootstock (6.88 cm<sup>2</sup>). In terms of cultivar averages, it has been determined that the values varied between 4.79 - 11.56 cm<sup>2</sup>. The highest trunk cross-sectional area was found in 'Deveci' (11.56 cm<sup>2</sup>) and the lowest in 'Williams' (4.79 cm<sup>2</sup>) cultivar. In terms of rootstock x cultivar interactions, it was found that the trunk cross-sectional area varied between 1.86 -14.64 cm<sup>2</sup>. The highest trunk cross-sectional area was observed in 'Deveci'/BA29 (14.64 cm<sup>2</sup>) and the lowest (1.86 cm<sup>2</sup>) in 'Williams'/MC combinations (Table 3). Other researchers have also reported that the trunk cross-sectional area differs in terms of production years, cultivars, and rootstocks (Loreti et al., 2002; Kosina, 2003; Iglesias and Asin, 2011; Sugar and Basile, 2011; Kaplan, 2011; Leipsis and Drudze, 2011; Öztürk and Öztürk, 2014; Mete, 2019; Öztürk, 2021; Küçüker and Ağlar, 2021; Jovanovic et al., 2022).

Canopy volume in terms of rootstock averages varied between 0.20 - 0.29 m<sup>3</sup>. Regarding cultivar averages, it varied between 0.12 - 0.36 m<sup>3</sup>. Regarding cultivar averages, the highest canopy volume was in 'Santa Maria' (0.36 m<sup>3</sup>), and the lowest in 'Williams' (0.12 m<sup>3</sup>) cultivar. In terms of years, it was determined that the crown volume in 2021 was higher (0.34 m<sup>3</sup>) than in 2020 (0.14 m<sup>3</sup>). The canopy volume observed between 0.03 - 0.56 m<sup>3</sup> in terms of rootstock x cultivar interactions. It was determined that the highest (0.56 m<sup>3</sup>) canopy volume was in 'Santa Maria'/MC and the lowest (0.03 m<sup>3</sup>) in 'Williams'/MC combinations (Table 3). Giocabbo (2010) said that the rootstocks significantly affect the canopy volume of cultivars. Canopy volume of 'Deveci' cultivar grafted on QA was found to be 0.20 - 0.76 m<sup>3</sup>, and 'Santa Maria' found to be 0.26 - 1.02 m<sup>3</sup> (Engin and Özkan 2011). Kaplan (2011) stated that there was a statistical difference in terms of canopy volume between pear cultivars grafted on QA rootstock. He emphasized that it was highest in 'B. Hardy' and 'B.P. Morettini', while lowest in 'Williams'. It was determined that the lowest crown volume was found in QA and MC rootstocks in the 'Souvenirs' pear cultivar grafted on different rootstocks (Leipsis and Drudze, 2011). Öztürk and Öztürk (2014) determined that the canopy volume of the 'Deveci' pear cultivar was higher on BA29 quince rootstock than on MC rootstock. In the evaluation of 'Deveci' pear performance on different rootstocks, Öztürk (2021) emphasized that the highest (2.32 m<sup>3</sup>) canopy volume was found in BA29, and the lowest (0.74 m<sup>3</sup>) in the MC rootstock. In the Tokat ecological conditions, the canopy volume of 'Santa Maria' grafted on QA rootstock ranged between 0.71 - 2.00 m<sup>3</sup>; and the 'Deveci' between 0.67 - 1.86 m<sup>3</sup> (Küçüker and Ağlar, 2021). It can be said that the results obtained from the research are compatible with previous studies that reported canopy volume was affected by the research years, rootstocks and cultivars (Büyükyılmaz and Bulagay, 1984; Büyükyılmaz et al., 1994; Urbina et al., 2003; Stern and Doron, 2009; Hudina et al., 2014).



**Table 3.** The effect of quince rootstocks on the morphological characteristics of some standard pear cultivars.

Rootstocks	Cultivars	Rootstock Diameter (mm)	Trunk Diameter (mm)	Tree Height (cm)	Trunk Cross Sectional Area (cm <sup>2</sup> )	Canopy Volume (m <sup>3</sup> )
QA	Deveci	38.85 ab*	30.58 abc	167.38 ab	9.97 b	0.20 bc
	Williams	24.99 d	21.43 d	138.88 bc	4.29 de	0.08 bc
	Santa Maria	37.74 ab	31.39 abc	194.89 a	9.66 bc	0.23 bc
	Abate Fetel	39.94 ab	34.77 ab	193.72 a	11.16 ab	0.27 bc
BA29	Deveci	46.60 a	37.88 a	198.43 a	14.64 a	0.36 ab
	Williams	34.27 bc	29.12 bc	177.48 a	8.22 bcd	0.26 bc
	Santa Maria	37.65 ab	32.04 abc	192.47 a	9.66 bc	0.28 bc
	Abate Fetel	37.41 b	34.16 ab	168.36 ab	10.35 ab	0.25 bc
MC	Deveci	39.81 ab	31.70 abc	175.81 a	10.08 b	0.31 abc
	Williams	16.27 e	14.19 e	111.83 c	1.86 e	0.03 c
	Santa Maria	38.21 ab	32.75 abc	186.67 a	10.13 b	0.56 a
	Abate Fetel	26.50 cd	25.27 cd	141.42 bc	5.43 cde	0.07 bc
Main factors effects						
Year	2020	30.79 b	25.16 b	153.70 b	6.44 b	0.14 b
	2021	38.92 a	34.05 a	187.51 a	11.14 a	0.39 a
Rootstocks	QA	35.38 b	29.54 b	173.72 b	8.77 b	0.20 a
	BA29	38.98 a	33.30 a	184.18 a	10.71 a	0.29 a
	MC	30.20 c	25.98 c	153.93 c	6.88 c	0.24 a
Cultivars	Deveci	41.75 a	33.39 a	180.54 a	11.56 a	0.29 ab
	Williams	25.18 c	21.58 b	142.73 c	4.79 c	0.12 c
	Santa Maria	37.87 b	32.06 a	191.34 a	9.82 b	0.36 a
	Abate Fetel	34.62 b	31.40 a	167.83 b	8.98 b	0.19 bc
Significance						
Years		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Rootstocks		0.001	0.001	0.001	0.001	0.208
Cultivars		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Years x Rootstocks		0.042	0.023	0.032	0.017	0.046
Years x Cultivars		0.048	0.030	0.041	0.042	0.016
Rootstocks x Cultivars		0.001	0.001	0.001	0.001	0.004
Yrs. x Rts. x Cultivars		0.641	0.129	0.032	0.049	0.041

\*: Averages shown with different letters in the same column. The difference between them is statistically significant.

The effect of rootstock, cultivar and rootstock x cultivar interactions on petiole length, petiole thickness, leaf length, leaf width, leaf area, and annual shoot length of pear cultivars grafted on different quince rootstocks were found to be statistically significant. However, it was stated that the effect of the study year on petiole length, petiole thickness, and leaf width was insignificant (Table

4). Regarding rootstock averages, petiole length varied between 19.26 - 30.74 mm. The highest petiole length (30.74 mm) was determined in QA, and the lowest (19.26 mm) in MC rootstock. Regarding cultivar averages, petiole length was observed between 22.34 - 28.50 mm; the highest was determined in 'Deveci' (28.50 mm) and the lowest (22.34 mm) in 'Williams'. Regarding rootstock x cultivar interactions, the petiole length varied between 16.30 - 38.29 mm. The highest (38.29 mm) petiole length was in 'Deveci'/QA, and the lowest (16.30 mm) was in 'Santa Maria'/MC combinations (Table 4).

On the petiole length; Öztürk and Öztürk (2014) determined that rootstocks had a significant effect on the 'Deveci' pear. They reported that the petiole length of 'Deveci' ranged from 33.5 mm to 44.3 mm. Furthermore, the highest petiole length on BA29 (44.3 mm) and the lowest on pear seedlings (33.5 mm) were mentioned. Çoban and Öztürk (2020) determined that rootstocks, cultivars, and rootstock x cultivar interactions significantly affected the average petiole length and reported that the petiole length was 22.5 - 37.6 mm in rootstocks and 29.3 - 35.7 mm in cultivars. The findings of our study differ partially from the results obtained by previous researchers. We can say that the resulting difference is due to the growing conditions, the rootstocks and cultivars.

In terms of rootstock averages, petiole thickness varied between 0.71 - 0.80 mm. It was determined that the petiole thickness was highest in BA29 and QA (0.80 mm and 0.76 mm, respectively) and the lowest in MC rootstock (0.71 mm). In terms of cultivars, they varied between 0.74 - 0.79 mm. The highest petiole thickness was in 'Abate Fetel' (0.79 mm) and 'Santa Maria' (0.79 mm), while the lowest was in 'Deveci' (0.74 mm). Regarding rootstock x cultivar interactions, petiole thickness was found to vary between 0.63 and 0.88 mm. The highest (0.88 mm) petiole thickness was in 'Abate Fetel'/BA29 and the lowest (0.63 mm) in 'Santa Maria'/MC combinations (Table 4). The study petiole thickness was significantly affected by rootstock, cultivar, and rootstock x cultivar interactions. Öztürk and Öztürk (2014) emphasized that rootstocks had an important effect on petiole thickness in 'Deveci' pear, and they reported that petiole thickness ranged from 0.58 to 0.76 mm. In the same study, it was determined that the highest average petiole thickness was in BA29 quince clonal rootstock (0.76 mm) and seedling (0.70 mm), while the lowest (0.58 mm) in plants grafted on EMC rootstock. Çoban (2019) determined that the effect of pear rootstocks, cultivars, and rootstock x cultivar combinations on the average petiole thickness was significant, and reported that the average petiole thickness was 0.97 - 1.27 mm in rootstocks and 1.06 - 1.16 mm in the cultivars. The researchers emphasized that the highest average petiole thickness was in Fox11 (1.27 mm), while the lowest was in seedling (0.97 mm) and OHF 333 (1.04 mm) rootstocks.

**Table 4.** The effect of quince rootstocks on leaf and annual shoot length of some standard pear cultivars.

Rootstocks	Cultivars	Leaf Petiole Length (mm)	Leaf Petiole Thickness (mm)	Leaf Length (mm)	Leaf Width (mm)	Leaf Area (cm <sup>2</sup> )	Annual Shoot Length (cm)
QA	Deveci	38.29 a*	0.76 cd	44.78 d	31.21 b	10.01 c	38.03 bc*
	Williams	24.59 fg	0.74 cde	36.40 e	27.52 c	7.19 de	41.22 abc
	Santa Maria	33.47 bc	0.76 cd	55.64 a	35.68 a	14.20 a	49.15 ab
	Abate Fetel	26.61 ef	0.81 abc	48.30 c	23.25 d	8.07 d	37.91 bc
BA29	Deveci	28.65 de	0.69 def	46.50 cd	21.81 d	7.29 d	46.17 ab
	Williams	23.32 g	0.77 cd	37.50 e	23.07 d	6.20 ef	37.58 bc
	Santa Maria	33.83 b	0.84 ab	56.26 a	32.30 b	13.03 b	43.20 abc
	Abate Fetel	31.10 cd	0.88 a	51.47 b	26.73 c	9.87 c	53.42 a
MC	Deveci	18.56 h <sub>1</sub>	0.76 cd	35.57 e	21.66 d	5.58 fg	22.47 de
	Williams	19.10 h	0.79 bc	32.77 f	22.18 d	5.31 fg	17.17 e
	Santa Maria	16.30 <sub>1</sub>	0.63 f	35.70 e	18.45 e	4.69 g	30.84 cd
	Abate Fetel	23.07 g	0.68 ef	45.61 d	21.96 d	7.20 de	37.06 bc
Main factors effects							
Year	2020	26.09 a	0.77 a	44.13 a	25.89 a	8.37 a	44.29 a
	2021	26.72 a	0.75 a	43.62 b	25.08 a	8.07 b	31.41 b
Rootstocks	QA	30.74 a	0.76 a	46.28 b	29.41 a	9.87 a	41.58 a
	BA29	29.22 b	0.80 a	47.93 a	25.98 b	9.10 b	45.09 a
	MC	19.26 c	0.71 b	37.41 c	21.06 c	5.70 c	26.88 b
Cultivars	Deveci	28.50 a	0.74 b	42.28 c	24.89 b	7.63 c	35.56 b
	Williams	22.34 c	0.76 ab	35.56 d	24.25 b	6.24 d	31.99 b
	Santa Maria	27.86 ab	0.74 b	49.20 a	28.81 a	10.64 a	41.06 a
	Abate Fetel	26.93 b	0.79 a	48.46 b	23.98 b	8.38 b	42.79 a
Significance							
Years		0.230	0.079	0.050	0.086	0.047	0.001
Rootstocks		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cultivars		0.001	0.044	0.001	0.001	0.003	0.001
Years x Rootstocks		0.034	0.048	0.001	0.003	0.001	0.041
Years x Cultivars		0.046	0.390	0.001	0.047	0.005	0.035
Rootstocks x Cultivars		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Yrs. x Rts. x Cultivars		0.404	0.243	0.001	0.007	0.023	0.041

\*: Averages shown with different letters in the same column. The difference between them is statistically significant.

Leaf length in the case of rootstock averages varied between 37.41 - 47.93 mm. The highest leaf length was determined on QA (47.93 mm) and the lowest on MC (37.41 mm). In terms of cultivars' averages, it was determined that they varied between 35.56-49.20 mm. In terms of

cultivars, the highest leaf length was found in ‘Santa Maria’ (49.20 mm) and the lowest in ‘Williams’ (35.56 mm). In terms of rootstock x cultivar interactions, it was determined that the leaf length was recorded between 32.77 - 56.26 mm. The highest leaf length was in ‘Santa Maria’/BA29 and ‘Santa Maria’/QA (56.26 mm and 55.64 mm, respectively), while the lowest (32.77 mm) was in ‘Williams’/MC combinations (Table 4). In our study, it was observed that the leaf length varied between 35.56 - 49.20 mm. Serttaş (2019) stated that the leaf length of pear varied in terms of rootstock and cultivars; she reported that the leaf length was between 59.0 - 65.2 mm between rootstocks. In addition, she determined that the highest leaf length was in ‘Santa Maria’ (65.5 mm) and the lowest in ‘Williams’ and ‘Abate Fetel’ (61.7 mm and 61.5 mm, respectively). The highest leaf length found in the ‘Deveci’/ BA29 (Öztürk ve Öztürk, 2014). Kılıç (2015) reported leaf lengths between 32.00 - 60.18 mm in the case of different pear genotypes. Çoban and Öztürk (2020) emphasized that rootstocks and cultivars had an important effect on leaf length in ‘Deveci’ and ‘Williams’ pear cultivars that were grafted on different quince and pear clonal rootstocks. They noted that the leaf height was 6.67 - 6.88 cm in rootstock averages and 6.42 - 7.23 in cultivar averages. When our findings compared with previous studies, it was determined that the leaf length was slightly lower. Indeed, the ecological conditions of the research region where the plants were grown at an optimum level for cultivation positively affected the photosynthesis in the plant, so caused an increase in vegetative growth and development (Uzun, 1997). The genetic structures of rootstocks and cultivars caused differences in growth characteristics, which can also affect leaf length (Çoban, 2019; Serttaş, 2019; Çoban and Öztürk, 2020; Serttaş and Öztürk, 2020).

Leaf width in terms of rootstock varied between 21.06 - 29.41 mm. The highest leaf width was determined in QA (29.41 mm) and the lowest (21.06 mm) in MC rootstock. The leaf width was between 23.98 - 28.81 mm, reported in terms of cultivar averages. The highest leaf width was determined in ‘Santa Maria’ (28.81 mm). Regarding rootstock x cultivar interactions, the leaf width varied between 18.45 - 35.68 mm. The highest (35.68 mm) leaf width was in ‘Santa Maria’/QA, and the lowest (18.45 mm) was in ‘Santa Maria’/MC combinations (Table 4). Öztürk and Öztürk (2014) cited that rootstocks had a significant effect on leaf sizes of ‘Deveci’ pear; they reported that leaf blade width was the highest in plants grafted on BA29 rootstocks. Kılıç (2015) reported that, leaf blade width differed between pear genotypes examined and varied between 28.99 - 48.34 mm. Çoban and Öztürk (2020) reported that the effects of cultivars, rootstocks, and rootstock x cultivar combinations on the leaf width of grafted pear cultivars were significant; they reported that leaf blade width was 36 - 37 mm in cultivars and 35 - 38 mm in the rootstocks. Serttaş and Öztürk (2020) reported that leaf blade width was the highest in ‘Deveci’ and ‘Santa Maria’ (3.75 cm and 3.44 cm), and the lowest (3.40 cm and 3.34 cm) in ‘Abate Fetel’ and ‘Williams’ cultivars. It was stated that the differences in the results were due to the genotypic variations in the cultivars.

Leaf area (LA) in the case of rootstocks ranged between 5.70 - 9.87 cm<sup>2</sup>, the highest in QA (9.87 cm<sup>2</sup>) and the lowest in MC (5.70 cm<sup>2</sup>). The case of cultivars ranged between 6.24 - 10.80 cm<sup>2</sup>, the highest in 'Santa Maria' (10.80 cm<sup>2</sup>) and the lowest in 'Williams' (6.24 cm<sup>2</sup>). In the case of rootstocks x cultivars combinations ranged between 4.69 - 14.20 cm<sup>2</sup>, the highest in 'Santa Maria'/QA (14.20 cm<sup>2</sup>) and the lowest in 'Santa Maria'/MC (4.69 cm<sup>2</sup>) (Table 4). Leaf area is an important consideration of tree canopy volume efficiency and fruit quality (Zhang et al., 2016). Also, to understand evaporation, respiration, photosynthesis, light reception, water, and nutrient usage, flowering, fruit set, and efficiency of yield, leaf area is a withstand factor; they mentioned the leaf area of 'Santa Maria' was 23.82 cm<sup>2</sup> while grafted on BA29 (Ozturk et al., 2019). In other research stated that the effect of rootstocks on the leaf area of the 'Deveci' pear was significant; they reported that the leaf area of the plants grafted on BA29 was higher than the other rootstocks (Öztürk and Öztürk, 2014). Engin (2011) reported that leaf area was observed (15.72 to 23.78 cm<sup>2</sup>) in 'Santa Maria'/QA, and (17.07 to 21.61 cm<sup>2</sup>) in 'Santa Maria'/OHF 333 combinations.

Annual shoot length in terms of rootstock averages varied between 26.88 - 45.09 cm. The longest annual shoot length was determined in BA29 and QA (45.09 cm and 41.58 cm, respectively), and the shortest (26.88 cm) in the MC rootstock. In terms of cultivars reported between 31.99 - 42.79 cm. The longest annual shoots were observed in 'Abate Fetel' and 'Santa Maria' (42.79 cm and 41.06 cm, respectively), and the shortest in 'Williams' and 'Deveci' (31.99 cm and 35.56 cm, respectively). Regarding rootstock x cultivar interactions, the annual shoot length was 17.17 - 53.42 cm. The highest (53.42 cm) annual shoot length was determined in 'Abate Fetel'/BA29 and the lowest (17.17 cm) in 'Williams'/MC combinations (Table 4). In the 'Abate Fetel' cultivar grafted on different rootstocks, the longest annual shoot length was found in the seedling (82.0 cm), the lowest in BA29 (4.6 cm) and MA (5.2 cm) rootstocks. Also, they reported that the 'Conference' cultivar's longest annual shoots were observed on the seedling (83.3 cm), and the shortest (2.6 cm) was on the BA29 rootstock (Castro and Rodriguez, 2002). Kviklys and Kvikliene (2004) stated that there were significant differences between rootstocks in annual shoot length in 'Conference' pear cultivar grafted on different rootstocks, and they reported the highest annual shoot length was in MC, Sydo, and seedling rootstocks. Annual shoot length in QA was reported as 13.97 - 23.14 cm by (Ertürk et al., 2009). The longest shoot length was observed on 'Coscia' and 'Deveci' (23.14 cm, 21.65 cm), respectively, while the lowest (13.97 cm) was in the 'Williams' cultivar (Ertürk et al., 2009). Annual shoot length was reported to be 26.00 - 44.56 cm in 'Deveci'/QA, 35.56 - 49.00 cm in 'Santa Maria'/QA, 22.89 - 46.44 cm in 'Deveci'/OHF 333, and 16.67 - 37.90 cm in the 'Santa Maria'/OHF 333 (Engin and Özkan, 2011). Osmanoğlu et al. (2013) reported that the annual shoot length of 'Ankara', 'Akça', 'Williams', 'Santa Maria', and 'Deveci' pear cultivars grown in Bingöl ecological conditions varied between 22.0 and 86.0 cm. The highest

annual shoot length was in ‘Ankara’, and the lowest was in the ‘Santa Maria’ cultivar. In the ‘Shahmiveh’ pear cultivar grafted on different rootstocks, the longest annual shoot length was obtained from Konjoni and pear seedlings. In contrast, the shortest was obtained from hawthorn seedlings and MC rootstock (Akbari et al., 2014). Considering the effect of Champion, Melliforme, and *P. calleryana* pear rootstock on the annual shoot length of the ‘Williams’ cultivar, they found that the growth force of Champion rootstock was weaker than other rootstocks (Pasa et al., 2020).

#### **4. Conclusion**

It was determined that the ‘Williams’ cultivar did not perform well in plant growth compared to other cultivars grafted on QA. It was thought that this situation might result from incompatibility between the rootstock and the grafted cultivar on it. For this purpose, if the ‘Williams’ cultivar is to be grown on the QA rootstock, the appropriate intermediate stock should be used. In our study, we found that MC rootstock may be suitable for dense planting because it is more stunted in terms of plant growth. ‘Deveci’, ‘Williams’, and ‘Santa Maria’ pear cultivars suited Samsun ecological conditions. Due to the early flowering of the ‘Abate Fetel’ cultivar, the low temperatures in this period as well as the high amount of precipitation negatively affected pollination and caused poor fruit set, so care should be taken in the cultivation of this cultivar. Phenological observations showed significant differences over the research years. The rootstocks, cultivars and variations of the climatical conditions were among the reasons for the differences.

#### **Acknowledgements**

We would like to thank the support unit of Ondokuz Mayıs University Scientific Research Projects (OMU-BAP) for supporting this project (PYO.ZRT.1904.20.007).

#### **Conflict of Interest**

The authors declare that there are no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### **Author Contributions**

All authors contributed to the research application, preparation of research article, reading and approving of the final manuscript.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Akbari, H., Ghasemi, A., & Ebrahimpour, H. (2014). Investigations and comparisons of potential efficiency of Quince and local rootstocks on nutrient uptake and control vigor of Esfahan Shahmiveh pear cultivar. *International Journal of Advanced Life Sciences (IJALS)*, 7(4), 603-609.
- Akçay, M.E., Büyükyılmaz, M., & Burak, M. (2009). Marmara Bölgesi İçin ümitvar Armut Çeşitleri - IV. Bahçe, 38 (1), 1-10.
- Askari-Khorasgania, O., Jafarpoura, M., Hadada, M.M., & Pessaraklib, M. (2019). Fruit yield and quality characteristics of 'Shahmiveh' pear cultivar grafted on six rootstocks. *Journal of Plant Nutrition* 42(4), 323-332.
- Bağcı, S. (2015). Kahramanmaraş ili ova koşullarında bazı armut çeşitlerinin adaptasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Bolat, İ., & İkinci, A. (2019). Meyvecilikte anaç kullanımı. I. Uluslararası Harran Multidisipliner Çalışmalar Kongresi (8-10 Mart 2019, Şanlıurfa, Türkiye) Bildirileri, 278-283.
- Büyükyılmaz, M., & Bulagay, A.N. (1984). Marmara Bölgesi İçin Ümitvar Armut Çeşitleri. II. Bahçe 12 (2), 5-14.
- Büyükyılmaz, M., Bulagay, A.N., & Burak, M. (1994). Marmara Bölgesi İçin Ümitvar Armut Çeşitleri III. Bahçe 23 (1-2), 79-92.
- Castro, H.R., & Rodriguez, R.O. (2002). The behaviour of quince selections as pear rootstocks for 'Abbé Fétel' and 'Conference' pear cultivars in the rio negro valley, Argentina. *Acta Horti*, 596, 363-368.
- Corso, M., & Bonghi, C. (2014). Grapevine rootstock effects on abiotic stress tolerance, *Plant Science Today*, 1(3), 108-113.
- Çetinbaş, M., Butar, S., Sesli, Y., & Yaman, B. (2018). Armut fidanı üretiminde farklı çeşit/anaç kombinasyonlarının bazı fidan özelliklerine etkisi üzerine araştırmalar. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(Ek Sayı), 8-12.
- Çoban, N. (2019). Farklı anaçlar üzerine aşılı armut çeşitlerinin aşı uyuma durumlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Samsun.
- Coban, N., & Ozturk, A. (2020). Effect of rootstock and cultivars on some branch and leaf characteristics in pear. *Turk J. Food Agric. Sci.*, 2 (1), 15-22.
- Dondini, L., & Sansavini, S. (2012). European pear. In: *Fruit Breeding*. Editors: Badanes, M.L., Byrne, D.H., New York: Springer.
- du Plooy, P., & van Huyssteen, P. (2000). Effect of BP1, BP3 and Quince A rootstocks, at three planting densities, on precocity and fruit quality of 'Forelle' pear (*Pyrus communis* L.), *South African Journal of Plant and Soil*, 17(2), 57-59.
- Engin, K. (2011). OHF x 333 ve Quince A anaçları üzerine aşılı Santa Maria ve Deveci armut çeşitlerinde farklı terbiye sistemlerinin vejetatif ve generatif gelişim üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Tokat.
- Ertürk, Y., Gülerüz, M., & Erdoğan, Ü. (2009). Quince A üzerine aşılı bazı armut çeşitlerinin İspir (Yukarı Çoruh havzası) koşullarındaki verim ve gelişme durumlarının belirlenmesi. *Bahçe*, 38 (1), 11-17.
- Francescato, P., Pazzin, D., Gazolla Neto, A., Fachinello, J. C., & Giacobbo, C. L. (2010). Evaluation of graft compatibility between quince rootstocks and pear scions. *Acta Horticulturae*, 872, 253-260.
- Francescato, P., Pazzin, D., Nero, A.G., Fachinello, J., & Giacobbo, C. (2014). Evaluation of graft compatibility between quince rootstocks and pear scions. *Acta Horticulturae*, 872, 253-259.
- Gerçekçioğlu, R., Gencer, S., & Öz, Ö. (2014). Tokat ekolojisinde yetiştirilen "Eşme" ve "Limon" ayva (*Cydonia vulgaris* L.) çeşitlerinin bitkisel ve pomolojik özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 7(1), 01-05.

- Giacobbo, C.L., Gazolla Neto, A., Pazzin, D., Francescato, P., & Fachinello, J.C. (2010). The assessment of different rootstocks to the pear tree cultivar 'Carrick'. *Acta Horti*, 872, 353-358.
- Giacobbo, C.L., Fischer, D.L.O., & Uberti, A. (2018). Rootstocks as possible alternative uses for pear trees cultivar select. *Horticulture International Journal*, 2(3), 84-86.
- Hancock, J.F., & Lobos, G.A. (2008). Pears. In *Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics*. Editor: Hancock, J.F. New York, Springer.
- Hepaksoy, S. (2019). Meyvecilikte anaç kullanımı: Armut anaçları. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 12(2), 69-74.
- Hudina, M., Orazem, P., Jakopic, J., & Stampar, F. (2014). The phenolic content and its involvement in the graft incompatibility process of various pear rootstocks (*Pyrus communis* L.). *Journal of Plant Physiology* 171, 76-84.
- Iglesias, I., & Asin, L. (2011). Agronomical performance and fruit quality of 'conference' pear grafted on clonal quince and pear rootstocks. *Acta Horti*, 903, 439-442.
- Jackson, J.E. (2003). *Biology of apples and pears*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Jovanovic, M., Milošević, T., Milošević, N. et al. (2022). Tree Growth, Productivity, and Fruit Quality Attributes of Pear Grown Under a High-Density Planting System on Heavy Soil. A Case Study. *Erwerbs-Obstbau*.
- Kaplan, N. (2011). Quince A Üzerine Aşılı Bazı Armut Çeşitlerinin Samsun Koşullarındaki Verim ve Gelişme Durumlarının Belirlenmesi. *Türkiye V1. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi* s. 695.700, 4-8 Ekim, Şanlıurfa.
- Kılıç, D. (2015). Gürgentepe (Ordu) ilçesinde yetiştirilen yerel armut çeşitlerinin meyve ve ağaç özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu*.
- Kosina, J. (2003). Evaluation of pear rootstocks in an orchard. *Horticultural Science (Prague)*, 30(2), 56-58.
- Küçükler, E., & Ağlar, E. (2021). The Effect of the Different Training Systems on Yield and Vegetative Growth of "Santa Maria" and "Deveci" Pear Cultivars. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(4), 870-875.
- Kviklys, D., & Kvikliene, N. (2004). Pear rootstock effect on growth, productivity and fruit internal quality. *Acta Horti*, 658, 359-363.
- Kurt, T., Öztürk, A., & Faizi, Z. A. (2022). Survival Rate of Young Pear Trees in Different Rootstock and Cultivar Combinations under Field Conditions: Preliminary Results. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37 (2), 405-420. <https://doi: 10.7161/omuanajas.1091137>.
- Lepsis, J., & Drudze, I. (2011). evaluation of seven pear rootstocks in latvia. *Acta Horti*, 903, 457-461.
- Loreti, F., Massai, R., Fei, C., & Cinelli, F. (2002). Performance of 'Conference' cultivar on several quince and pear rootstocks: preliminary results. *Acta Horticulturae* 596, 311-18.
- Maas, F. (2008). Evaluation of pyrus and quince rootstocks for high density pear orchards. *Acta Horticulturae* 800, 599-609.
- Machado., B.D., Magro, M., Rufato, L., Bogo, A., & Kreztschmar, A.A. (2016). Graft Compatibility between European Pear Cultivars and East Malling "C" Rootstock. *Rev. Bras. Frutic.*, 39(3).
- Mete, İ. (2019). Bazı armut çeşitlerinde fenolojik, morfolojik ve pomolojik özelliklerinde belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Aydın*.
- MGM, 2022. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/tahmin/il-ve-ilceler.aspx?il =Samsun &ilce =Bafra> (Erişim tarihi: 15.05.2022).
- Orman, E. (2005). Bahçesaray yöresi mahalli armutlarının pomolojik ve morfolojik incelenmesi. *YYU Fen Bilimleri Enst. (Y. Lisans Tezi, Basılmamış)*. Van.
- Osmanoğlu, A., Şimşek, M., & Şanlı, A. (2013). Bazı Standart Armut Çeşitlerinin Bingöl Ekolojisindeki Performansı Üzerinde Bir Araştırma. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 23(3), 222-228.
- Özbek, S. (1977). Genel Meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Yayınları No: 111, Adana.
- Özçağırın, R., Ünal, A., Özeker, E., & İsfendiyaroğlu, M. (2004). Armut. *Ilıman İklim Meyve Türleri, Yumuşak Çekirdekli Meyveler (Cilt-II)*. Ege Üniv. Zir. Fak. Yayınları No: 556, 200s.
- Özçağırın, R., Ünal, A., Özeker, E., & İsfendiyaroğlu, M. (2005). *Ilıman İklim Meyve Türleri, Sert Çekirdekli Meyveler Cilt 1: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*. No: 553. İzmir. 229s.
- Öztürk, F.P., Emre, M., Karamürsel, D., Öztürk, G., & Dolunay, E.M. (2013). Modern meyvecilik ve ekonomik değerlendirmesi. *Tarım Türk Dergisi- Kasım-Aralık 2013 sayı:44*.
- Öztürk, A., & Öztürk, B. (2014). The Rootstock Influences Growth and Development of Deveci Pear. *Türk tarım ve Doğa bilimleri dergisi*, 1(1), 1049-1053.



- Öztürk, A., Demirsoy, L., & Demirel, G. (2016). Seçilmiş Bazı Armut Genotiplerinin Samsun Ekolojisindeki Fenolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Bahçe*, 45(1), 1084-1089.
- Ozturk A, Cemek B, Demirsoy H, & Kucuktopcu E. (2019). Modelling of the leaf area for various pear cultivars using neuro computing approaches. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(4), e0206-e0206.
- Öztürk, A. (2021). Farklı Anaçlar Üzerine Aşılı ‘Deveci’ Armudunun Büyüme ve Meyve Kalite Özellikleri. *Bağbahçe Bilim Dergisi*, 8(3), 179-187.
- Ozturk, A., Faizi, Z. A., & Kurt, T. (2022). Performance of Some Standard Quince Varieties under Ecological Conditions of Bafra, Samsun. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 32 (2), 320-330. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1058908>.
- Pasa, M.S., Fachinello, J.C., Rosa Júnior, H.F., Franceschi, E., Schmitz, J.D., & Souza, A.L.K. (2015) Performance of ‘Rocha’ and ‘Santa Maria’ pear as affected by planting density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 126-131.
- Pasa, M.S., Schmitz, J.D., Junior, H.F.R., Souza, A.L.K., Malgarim, M.B., & MelloFarias, P.C. (2020). Performance of ‘William’s’ pear grafted onto three rootstocks. *Revista Ceres (Viçosa)*, 67(2), 133-136.
- Rahman, J., Aftab, M., Rauf, M. A., Rahman, K. U., Farooq, W. B., & Ayub, G. (2017). Comparative study on compatibility and growth response of pear varieties on different rootstocks at nursery. *Pure Applied Biology*, 6(1), 286-292.
- Serttaş, S. (2019). Bazı armut klon anaçları üzerine aşılı armut çeşitlerinin fidan gelişim performanslarının belirlenmesi. *Yüksek Lisan Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Samsun*.
- Serttaş, S., & Ozturk, A. (2020). Armut Fidanlarının Morfolojik Özellikleri Üzerine Anaçların ve Çeşitlerin Etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 6(2), 175-185.
- Simard, M.H., Michelesi, J.C., & Masseron, A. (2004). Pear rootstock breeding in France. *Acta Horticulturae*, 658, 535-540.
- Stern, R. A., & Doron, I. (2009). Performance of ‘Coscia’ pear (*Pyrus communis*) on nine rootstocks in the north of Israel. *Scientia Horticulturae*, 119, 252-256.
- Sotiropoulos, T.E. (2006). Performance of the pear (*Pyrus communis*) cultivar William’s Bon Chretien grafted on seven rootstocks. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46, 701-705.
- Sugar, D., & Basile, S.R. (2011). Performance of ‘Comice’ pear on quince rootstocks in Oregon, USA. 2011. *Acta Horticulturae*, 909, 215-218.
- Urbina, V., Dalmases, J., Pascual, M., & Dalmau, R. (2003). Performance of “Williams” pear on five rootstocks. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 78(2), 193-196.
- Uzun, S. (1997). Sıcaklık ve ışığın bitki büyüme, gelişme ve verimine etkisi (I. Büyüme). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 147-156.
- Westwood, M.N. (1995). *Temperate Zone Pomology: Physiology and Culture*. Timber Press, Portland, Oregon, USA, pp 523.
- Zhang J, Serra S, Leisso RS, & Musacchi S. (2016). Effect of light microclimate on the quality of 'd'Anjou' pears in mature open center tree architecture. *Biosystems Engineering*, 141, 1-11.

## Design and Analyse of Structured H-infinity Controller for Level Control of Nonlinear Quadruple Tank Systems

Hasan BAŞAK<sup>1\*</sup>

### Abstract

Industrial process systems operate by interacting with each other to fulfil an essential industrial task. The majority of processes have nonlinear dynamics and multiple-input multiple-output systems which make them even more difficult to design control schemes. In industrial process applications, level control is one of the important problems. This study computes a structured H-infinity controller for the level control of a nonlinear quadruple tank system. This study aims to design a simple (low-order) robust controller and compare its performance to the performance of the classical Proportional-Integral-Derivative (PID) controller. PID controllers are mostly used in industrial processes due to their simplicity of implementation. However, PID controllers have some disadvantages. One of these disadvantages is that PID controllers offer lower robustness than robust control schemes when the industrial process operates in the presence of disturbances. Simulations are conducted in MATLAB\Simulink environment. Furthermore, the performance of the proposed controller is compared with the PID controller in terms of error-dependent performance indices and time-domain specifications. The simulation results have shown that the proposed controller provides robust set-point tracking, good disturbance rejection, and handling of the parametric uncertainty properties for nonlinear quadruple tank systems in industrial processes.

**Keywords:** Low-order robust controller, structured H-infinity control, PID, quadruple tank systems, multiple-input multiple-output systems

## Doğrusal Olmayan Dörtlü Tank Sistemlerinin Seviye Kontrolü için Yapılandırılmış H-sonsuz Denetleyici Tasarımı ve Analizi

### Öz

Endüstriyel süreç sistemleri, temel bir endüstriyel görevi yerine getirmek için birbirleriyle etkileşime girerek çalışır. Süreçlerin çoğu, kontrol şemalarını tasarlamayı daha da zorlaştıran, doğrusal olmayan dinamiklere ve çok girdili çok çıktılı sistemlere sahiptir. Endüstriyel süreç uygulamalarında seviye kontrolü önemli problemlerden biridir. Bu çalışma, doğrusal olmayan bir dörtlü tank sisteminin seviye kontrolü için düşük dereceli gürbüz bir denetleyici tasarlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, basit (düşük dereceli) dayanıklı denetleyici tasarlamak ve performansını klasik PID denetleyicinin performansıyla karşılaştırmaktır. PID denetleyiciler, uygulama kolaylığı nedeniyle çoğunlukla endüstriyel süreçlerde kullanılmaktadır. Ancak PID kontrolörlerin bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlardan biri, endüstriyel süreç bozucu etkilere maruz kaldığında, PID denetleyici gürbüz denetleyiciden daha düşük dayanıklılık sunmasıdır. Benzetimler MATLAB\Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Önerilen denetleyicinin performansı, klasik Oransal-İntegral-Türev (PID) kontrolör ile hataya bağlı performans indeksleri ve zaman-alanı özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, endüstriyel süreçte doğrusal olmayan dörtlü tank sistemi için önerilen denetleyicinin, dayanıklı istek takibi, iyi bir bozucu etki reddetme ve parametre belirsizliklerine karşı dayanıklılık yeteneklerine sahip olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük derece gürbüz denetleyici, yapılandırılmış H-sonsuz denetleyici, PID, dörtlü tank sistemleri, çok-girdili çok-çıkıtlı sistemler

<sup>1</sup>Electrical-Electronics Engineering Department, Artvin Çoruh University, Artvin, Turkey, [hasanbasak@artvin.edu.tr](mailto:hasanbasak@artvin.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-3724-6819>

## 1. Introduction

Multi-tank processes are used in the majority of industries such as petrochemical, food, paper-making, etc. industries. The multi-tank process is Multi input-Multi output (MIMO), complex and nonlinear system. A tank process comprises of pumps, tanks, valves, and sensors. While the industrial process is operating, the aperture of the valves and/or liquid type in the tanks can change. Furthermore, the power supply of the pump and valve coefficients might be uncertain in some cases which results in a highly nonlinear and varying behaviour of the tank systems. Hence, it is a difficult task to obtain the dynamic model of a tank system. From the aspect of the control law design, the liquid level control of the quadruple tank process is a difficult problem due to high nonlinearity, unknown disturbance, parameter uncertainty, and strong coupling. Hence, it is very important to develop effective control methods for multivariable quadruple tank processes for industries. To develop and test different control methods for multivariable systems, the quadruple tank system given by Johansson (2000) is a well-known benchmark.

Control techniques have been proposed to improve the level control performance of tank systems. Here, some of the recent papers in level control are reviewed. An adaptive PID controller was proposed in (Mizumoto et al., 2010) for the water level control of a three-tank system. Son (2020) proposed a hybrid method that consists of an inverse evolutionary neural model and a PID controller to eliminate the tracking error of the water level position. Furthermore, Osman et al., (2021) developed an adaptive sliding mode controller and an adaptive state feedback controller based on the pole placement method for the level control of a quadruple tank system. Shah and Patel, (2019) designed a sliding mode controller with a time delay compensator to overcome the problem of parametric uncertainty and process delays. Mehri and Tabatabaei (2021) developed an adaptive fractional-order sliding mode controller for a quadruple tank system in the case of time-varying pump coefficients. For the time delay problem in a quadruple-tank system, Naami et al., (2022) designed an H-infinity observer-based controller using Takagi-Sugeno fuzzy modelling method. Bennani et al., (2018) designed an observer-based H-infinity controller for the level problem in case of parameter uncertainties. Wei et al., (2013) designed an adaptive nonlinear controller to reject disturbances and fluctuations. To maintain closed-loop stability, Thamallah et al., (2019) proposed a predictive controller employing a fuzzy modelling method and particle swarm optimization algorithm. Pradhan and Ghosh (2022) proposed a periodic controller for a quadruple tank system with a non-minimum phase zero to improve robustness. A dynamic sliding surface controller was proposed by Zare et al., (2022) for a system with uncertainties, disturbances, and control input constraints. Vijay Anand and Manoharan (2022) proposed a robust controller to tackle parameter uncertainties in a quadruple tank system. Meng et al., (2021) designed an active disturbance rejection control that consists of a feedback

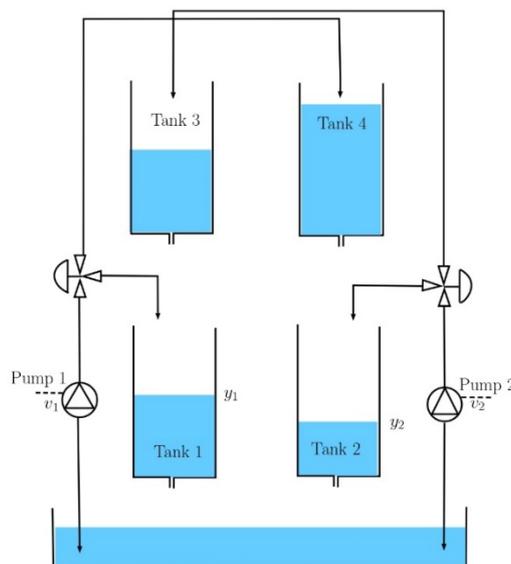
linearization method and extended state observer to eliminate disturbances on a quadruple tank system.

The standard H-infinity controllers have practical limitations which have slowed their implementation in the industry. In this work, the structured H-infinity controller is proposed to overcome the limitations of standard H-infinity controllers. We have designed a structured H-infinity controller for the liquid level of the quadruple tank process. The developed control law is simulated in the time-varying set points, in the presence of a disturbance and uncertainty of a parameter. As a commonly used approach to quadruple tank control, a classical PID controller is employed to analyse the capacity of the proposed controller in the simulation. Time-domain parameters and error-dependent performance indices are calculated to analyse the performance of the proposed controller with respect to the performance of the PID controller.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Quadruple Tank System

This section gives the nonlinear dynamics of a quadruple tank system. The quadruple tank system is illustrated in Figure 1. The control objective is to adjust the level in the lower two tanks using pumps in the presence of disturbances and parametric uncertainties. The quadruple tank system has two inputs ( $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$  input voltages to the pumps) two pumps, and two outputs ( $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ ) voltages from level measurement devices. The differential equations are derived using mass balances and Bernoulli's law as follows (Johansson, 2000):



**Figure 1.** Schematic of Quadruple tank system.

$$\begin{aligned}
 \dot{h}_1(t) &= -\frac{a_1}{A_1}\sqrt{2gh_1(t)} + \frac{a_3}{A_1}\sqrt{2gh_3(t)} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1}v_1(t) \\
 \dot{h}_2(t) &= -\frac{a_2}{A_2}\sqrt{2gh_2(t)} + \frac{a_4}{A_2}\sqrt{2gh_4(t)} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2}v_2(t) \\
 \dot{h}_3(t) &= -\frac{a_3}{A_3}\sqrt{2gh_3(t)} + \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3}v_2(t) \\
 \dot{h}_4(t) &= -\frac{a_4}{A_4}\sqrt{2gh_4(t)} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4}v_1(t)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Where  $h_i$  is the level in tank  $i$ ,  $a_i$  is the outlet cross-sectional of area tank  $i$ ,  $A_i$  is the cross-sectional area of tank  $i$  and  $g$  is the acceleration of gravity. The voltage  $v_i(t)$  is applied to pump  $i$  that results in the flow  $k_i v_i$ . The parameters  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  belong to values (0,1) presenting the portion of the flow. The flow to tanks 1 and 4 are  $\gamma_1 k_1 v_1$  and  $(1 - \gamma_1)k_1 v_1$  respectively and similar flows to tanks 2 and 3.

**Table 1.** The quadruple tank parameters (Johansson, 2000).

Parameters	Values
$A_1, A_3$ ( $cm^2$ )	28
$A_2, A_4$ ( $cm^2$ )	32
$a_1, a_3$ ( $cm^2$ )	0.071
$a_2, a_4$ ( $cm^2$ )	0.057
$k_c$ ( $V/cm$ )	0.5
$g$ ( $cm/s^2$ )	981

The quadruple tank system has minimum and non-minimum phase properties. Control laws will be designed at the minimum phase in this study. This operating point has following the parameter values:

$$\begin{aligned}
 [h_1^0, h_2^0, h_3^0, h_4^0] &= [12.4, 12.7, 1.8, 1.4] \\
 [k_1, k_2] &= [3.33, 3.35] \\
 [\gamma_1, \gamma_2] &= [0.70, 0.60] \\
 [v_1^0, v_2^0] &= [3, 3]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Define the state variable  $x_i := h_i - h_i^0$  and the input variable  $u_i := v_i - v_i^0$ . Then the linearized quadruple-tank system is:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}(t) &= A x(t) + Bu(t) \\
 y(t) &= Cx(t)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\text{where } A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\beta_1} & 0 & \frac{A_3}{A_1\beta_3} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\beta_2} & 0 & \frac{A_4}{A_2\beta_4} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\beta_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\beta_4} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} & 0 \\ 0 & \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} \\ 0 & \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3} \\ \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} & 0 \end{bmatrix} \text{ and } C = \begin{bmatrix} k_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_c & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{with } \beta_i = \frac{A_i}{a_i} \sqrt{\frac{2h_i^0}{g}}, \quad i = 1, \dots, 4$$

### 2.2. Structured H- Infinity Controller Design

The H-infinity synthesis is built on the standard closed-loop feedback system of Figure 2 where the signals ( $z$ ;  $w$ ;  $y$ ;  $u$ ) represent, respectively, the output objectives, the exogenous inputs such as disturbance and reference, and the measured outputs and control inputs.

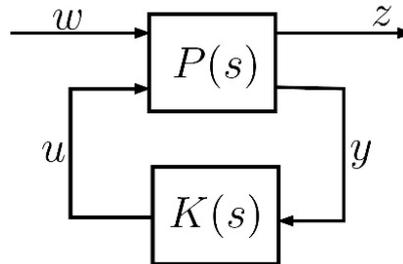


Figure 2. Standard feedback system.

The transfer function from  $w$  to  $z$  is

$$\mathcal{F}_l(P, K) = P_{11} + P_{12}K(I - P_{22}K)^{-1}P_{21} \tag{4}$$

The open-loop system  $P(s)$  of Figure 4, which is a general plant model that includes weighting functions and a plant model, is given as

$$P(s) = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & D_{11} & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \tag{5}$$

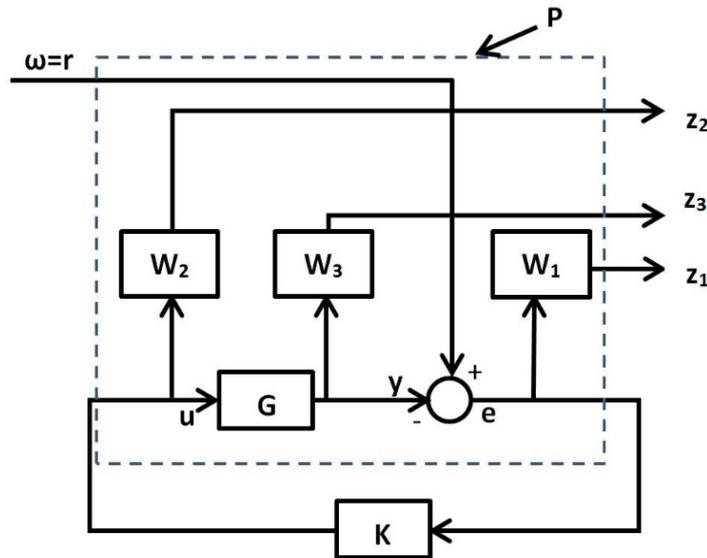
where  $A \in R^{n \times n}$ ,  $D_{11} \in R^{p_1 \times m_2}$ ,  $D_{21} \in R^{p_2 \times m_1}$  and the rest of the matrices possess compatible dimensions. The controller  $K$  is realized in state-space form as

$$K(s) = \begin{bmatrix} A_c & B_c \\ C_c & D_c \end{bmatrix} \tag{6}$$

in which  $A_c \in R^{n_c \times n_c}$  and matrices  $B_c, C_c, D_c$  possess compatible dimensions with  $A_c$ . The objective of the  $H$ -infinity control design is  $\inf_K \|\mathcal{F}_l(P, K)\|_\infty$ . The structured H-infinity controller is computed by the *hinfstruct* algorithm and here a low (fixed) order diagonal structured controller is

$$K(s) = \begin{bmatrix} k_1(s) & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & k_N(s) \end{bmatrix} \tag{7}$$

where  $k_1(s), \dots, k_N(s)$  are linear time-invar systems. The *hinfstruct* is a deterministic approach that does not involve any randomization apart from extra starting points. The *hinfstruct* algorithm automatically executes multiple optimizations, setting random starting points. This improves the speed at which parameter values that meet the design requirements (for more details see (Gahinet and Apkarian, 2011; Gahinet and Apkarian, 2012)).



**Figure 3.** The augmented plant including weighting functions in standard form.

The sensitivity transfer function and the complementary sensitivity transfer function are defined respectively  $S(s) = (I + GK)^{-1}$  and  $T = I - S(s)$ . Here the aim is to obtain a stabilizing controller such that

$$\begin{Bmatrix} W_1 S \\ W_2 K S \\ W_3 T \end{Bmatrix}_\infty < 1 \tag{8}$$

Then the frequency domain requirements will be satisfied. Weighting function  $W_2$  is selected as a constant and weigh functions  $W_1$  and  $W_3$  will be selected as follows:

$$W_1(s) = \frac{\frac{s}{M_S} + w_{BS}}{s + w_{BS}A_S} \tag{9}$$

$$W_3(s) = \frac{\frac{s}{w_{BT}} + 1/M_T}{\frac{A_T s}{w_{BT}} + 1} \tag{10}$$

where  $M_S$  and  $M_T$  determine limitations on maximum peak values.  $M_S$  and  $M_T$  are chosen less than 2 to obtain sufficient gain and phase margins.  $A_S$  and  $A_T$  are selected as nearly zero to obtain integral action but this results in numerical problems due to internal stability.  $A_S$  and  $A_T$  will be selected as small positive numbers. The closed-loop bandwidth is determined by  $w_{BS}$ . If the maximum singular value of  $S$  is made small over the frequency of disturbance, then the disturbance will be rejected (Skogestad and Postlethwaite, 2007).

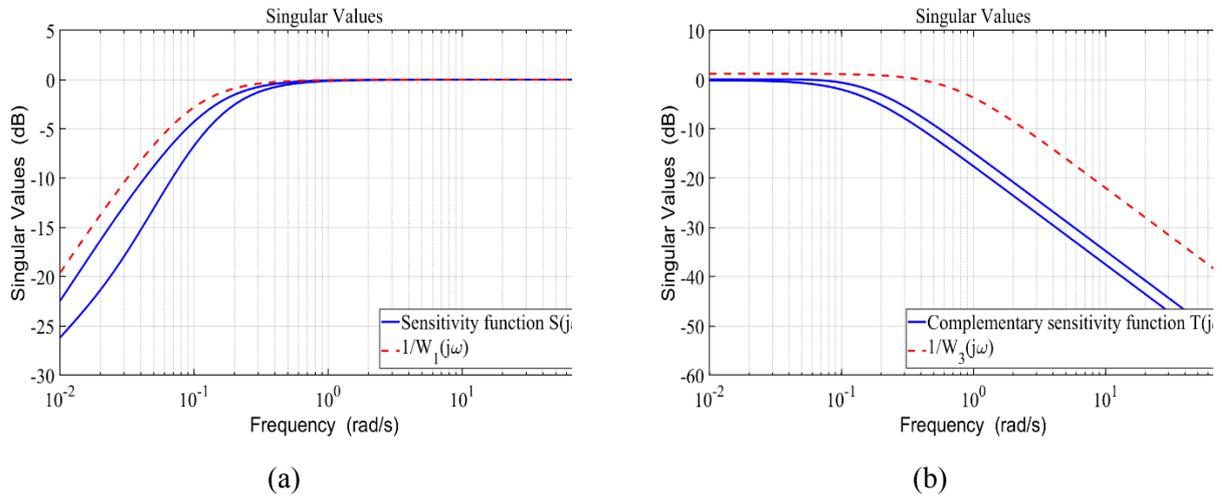
The weighting functions are found by using equations (8) and (9). The controller obtained is 2<sup>nd</sup> order and the best-achieved H-infinity norm of the closed-loop system is 1.15. The matrices of the controller,  $K$  in equation (5) are computed as follows:

$$A_C = \begin{bmatrix} 0.2820 & -0.0113 \\ 0.7269 & -0.2914 \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$B_c = \begin{bmatrix} 4.8839 & -236.09 \\ 45.3627 & -595.6572 \end{bmatrix}$$

$$C_c = \begin{bmatrix} -0.0088 & 0.0035 \\ 0.0076 & -0.0031 \end{bmatrix}$$

$$D_c = \begin{bmatrix} 4.3984 & -0.0859 \\ 0.0351 & 4.3577 \end{bmatrix}$$



**Figure 4.** Singular value of the sensitivity function (a), complementary sensitivity function (b), and inverse of the weighting functions.

Figure 4 shows the closed-loop frequency responses. It can be seen from Figure 4a that the 2<sup>nd</sup> order controller (standard H infinity controller is 8<sup>th</sup> order) will attenuate the disturbance until the frequency is 5 rad/s. Furthermore, from the plot of the complementary sensitivity function (Figure 4b), it can be said that there is good command tracking until the frequency of 0.04 rad/s. If we associate a single bandwidth for the MIMO system, then we consider the worst-case direction and the closed-loop bandwidth is about 0.131 rad/s (measured at -3dB). Gain margin (GM)=Inf dB and phase margin (PM)= 114.0139 degrees are computed with command *margin* in MATLAB.

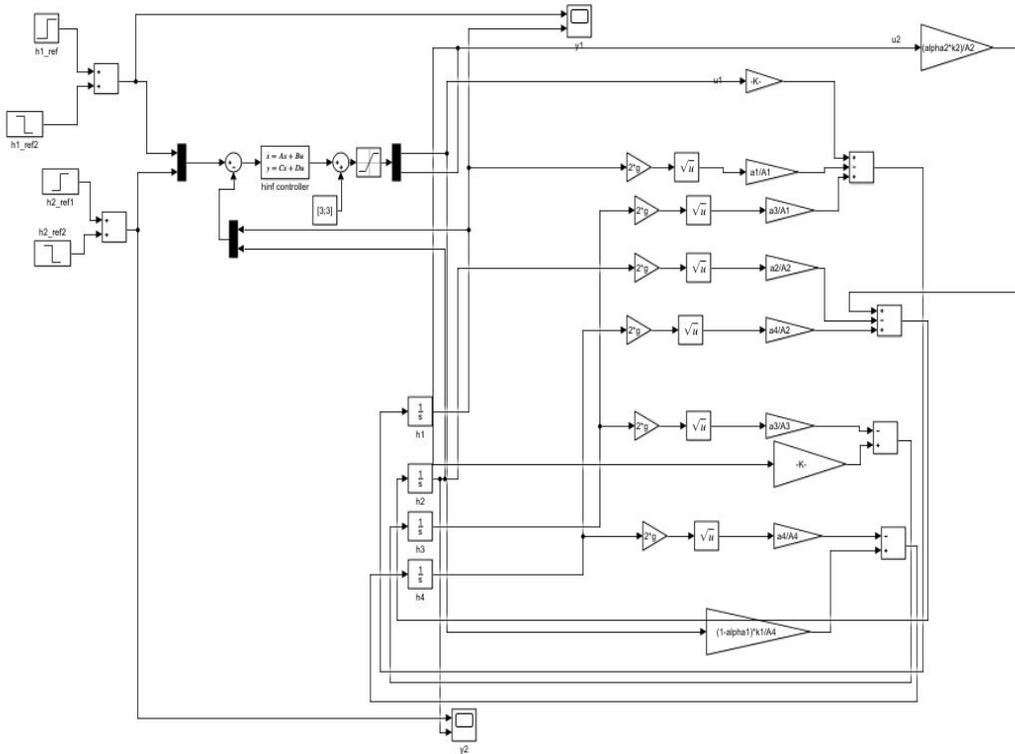
### 3. Simulation Results and Discussion

The structured H-infinity controller design is given in Section 3 and implemented in the simulation. The simulation block structure of the proposed controller with the quadruple tank system is given in Figure 5. To investigate the performance of the developed controller, the classical PID level control of the quadruple tank system is also studied in simulation. The simulation study of the quadruple tank system with the classical PID control law is displayed in Figure 6. The control law of the decentralized PID controller is



$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{12}$$

where  $u_{PID}(t)$  and  $e(t)$  represent the control input signal and error signal respectively. Simulations are run for 350 seconds at scenarios which are demand variation, disturbance, and parametric uncertainty to analyse the performance of the controllers. The parameters of PID controllers are found as  $K_p = [2 \ 1.7]$ ,  $K_i = [0.2 \ 0.08]$ , and  $K_D = [4 \ 5]$  using MATLAB/ PID tuner toolbox.



**Figure 5.** Simulation block scheme of the quadruple tank system with the structured H-infinity controller.

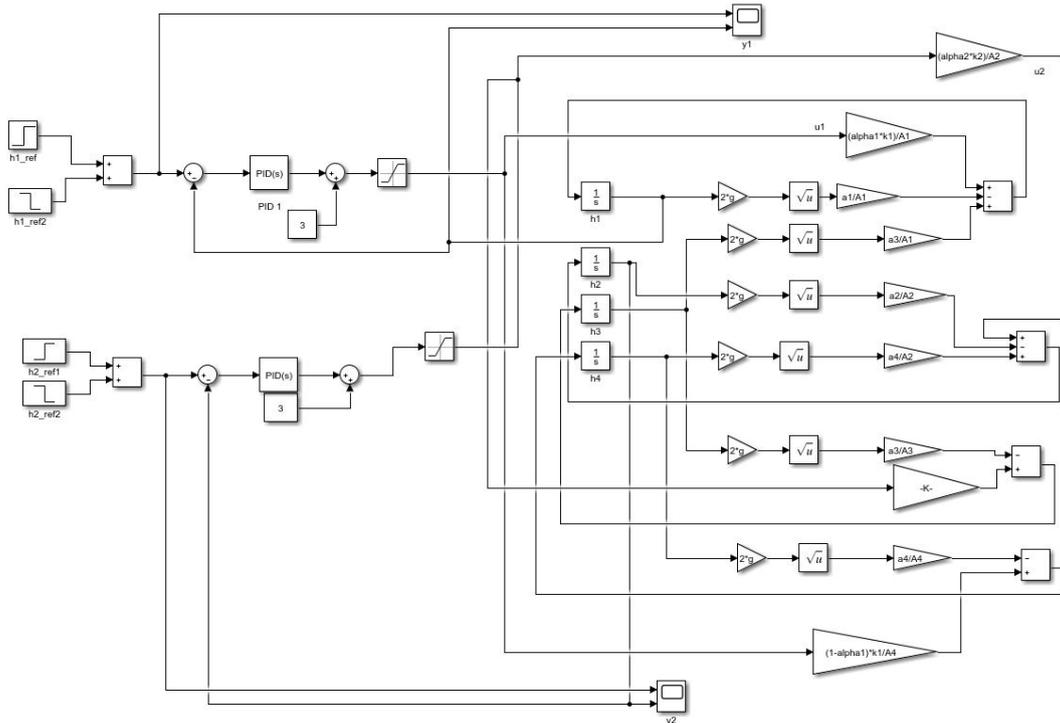


Figure 6. Simulation block scheme of the quadruple tank system with the PID controller.

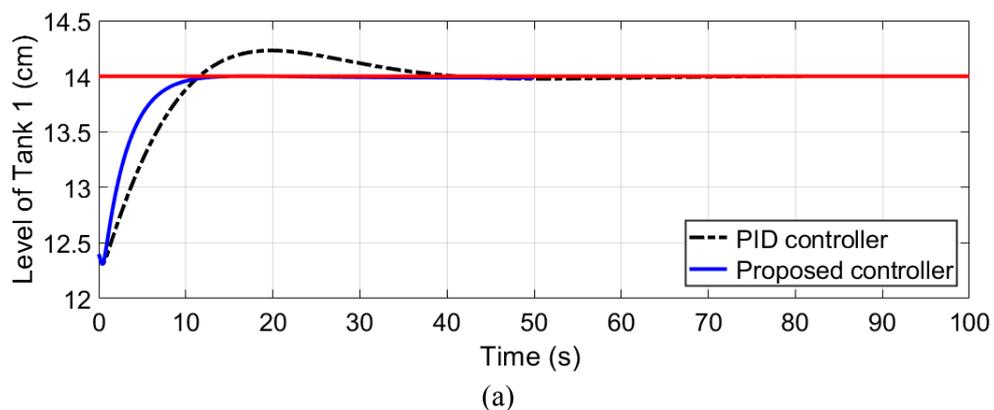
To analyse the performance of the controlled four-tank system, performance indices such as integral square error (ISE), integral absolute error (IAE), integral of time-weighted absolute error (ITAE) and mean-square-error (MSE) are computed whose formulatres are given as follows:

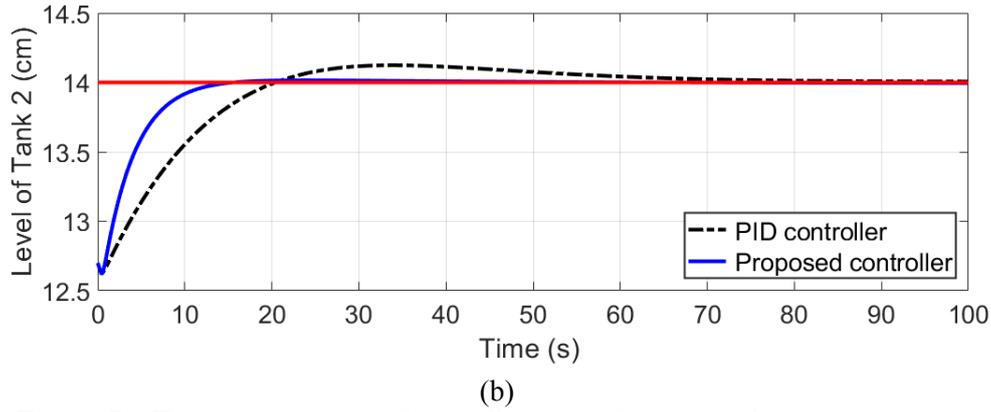
$$ISE = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt \tag{13}$$

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \tag{14}$$

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \tag{15}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \int_0^{\infty} e(t)^2 dt \tag{16}$$





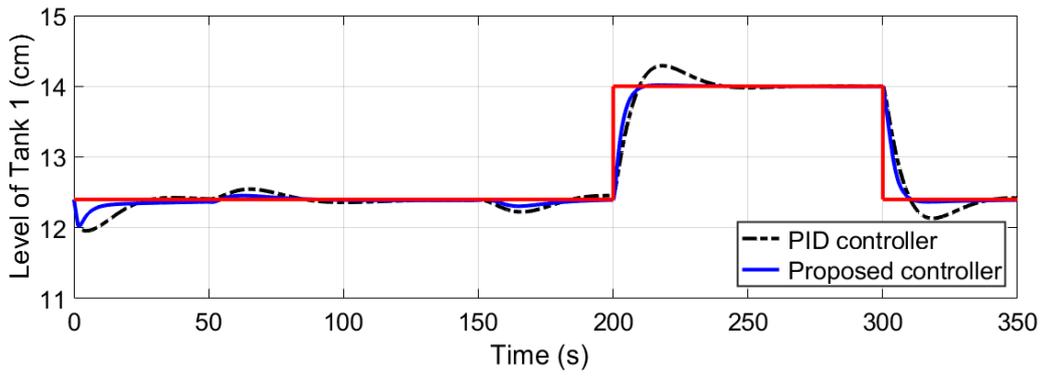
**Figure 7.** The step responses of controllers to evaluate time-domain parameters.

Figures 7a and 7b illustrate the step responses of controllers. In order to compare the performance of the controllers, time-domain performance specifications such as the overshoot percentage ( $M_p$ ), the rise time ( $T_r$ ), the settling time ( $T_s$ ) and steady-state error ( $E_{ss}$ ) are given in Table 2. In the table, the best values are highlighted in bold text. The structured H-infinity controller is more successful than the PID controller in terms of time-domain performance specifications.

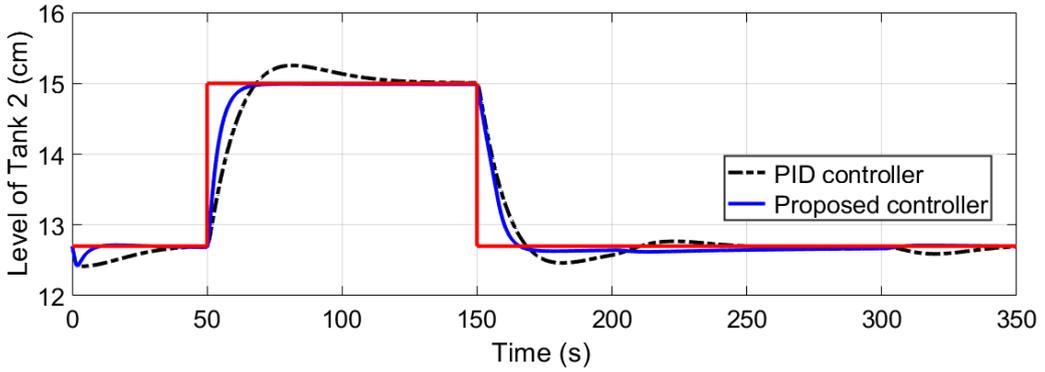
**Table 2.** Comparison of transient performance of controllers.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
$M_p$ %	14,375	<b>0.06</b>	9.23	<b>1.15</b>
$T_r$ (s)	9.6	<b>7</b>	16.2	<b>8.7</b>
$T_s$ (s)	51	<b>40</b>	108	<b>82</b>
$E_{ss}$ (cm)	0.02	<b>0.01</b>	0.006	<b>0.003</b>

Figures 8a and 8b display the robust stability and tracking performances of the quadruple tank system with the structured H-infinity controller and the classical PID controllers while the reference demand varies from 12.4 to 14 cm (Tank 1) and from 12.7 to 15 cm (Tank 2). A comparison of the voltages required by the pumps is given in Figure 9. It can be seen from Figure 9 that the structured H-infinity controller scheme requires a higher voltage than the classical PID controller does. The maximum value and energy,  $E_{cs} = \int_0^\infty u^2(t)dt$  of control signals are calculated and reported in Table 3. In the table, the best values are highlighted in bold text. A comparison of the transience performances with the controllers is reported in Table 4. Each performance index indicates that the classical PID controller obtains higher errors than the structured H-infinity controller does.

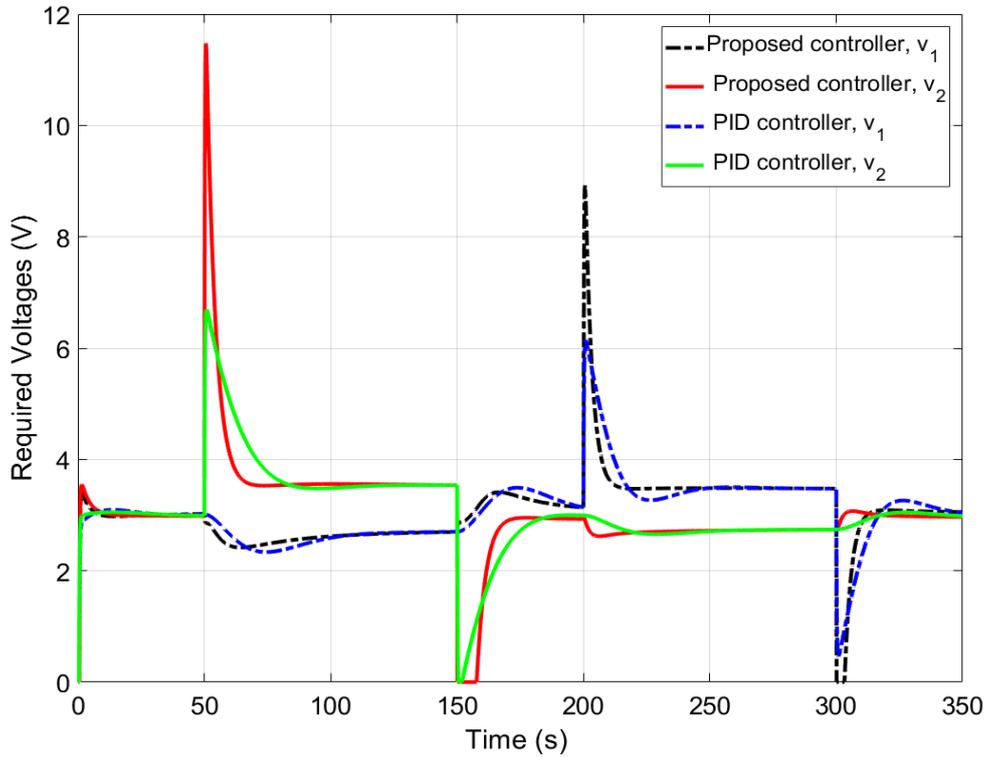


(a)



(b)

**Figure 8.** The level control of Tanks 1 and 2 under the demand variations.



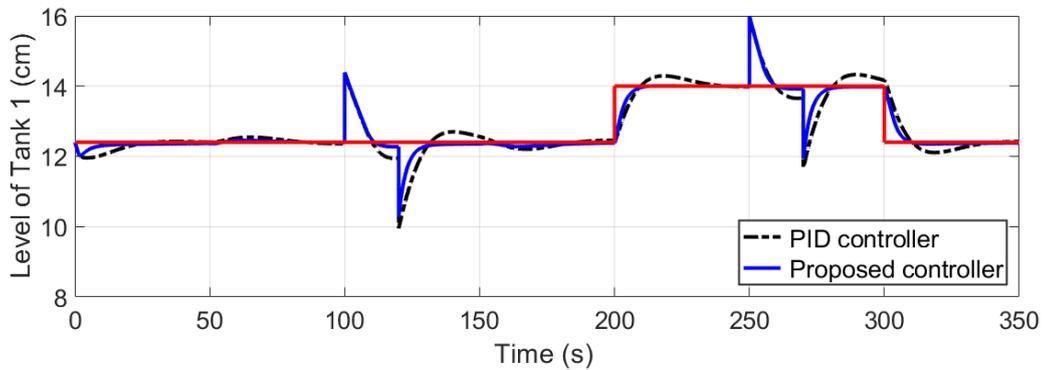
**Figure 9.** Comparison of control signals corresponding to Figure 6.

**Table 3.** The energy and maximum values of the control signals under the demand variations.

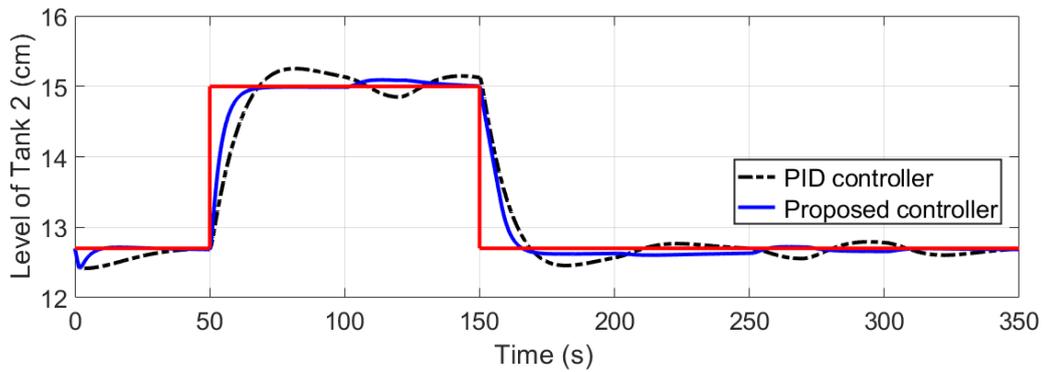
	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
Maximum values	<b>6.14</b>	8.92	<b>6.69</b>	11.47
Energy	<b>34454</b>	34724	<b>35152</b>	36232

**Table 4.** Performance indices of the PID and the proposed controllers under the demand variations.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
MSE	0.0560	<b>0.0360</b>	0.1496	<b>0.1006</b>
ISE	18.9852	<b>10.8552</b>	51.1585	<b>32.3378</b>
IAE	38.7173	<b>19.6930</b>	58.5066	<b>33.2943</b>
ITAE	7242.9	<b>3594.6</b>	6899	<b>4521.1</b>



(a)



(b)

**Figure 10.** The performance of the controlled liquid level of Tanks 1 and 2 under the demand variations and output disturbance.

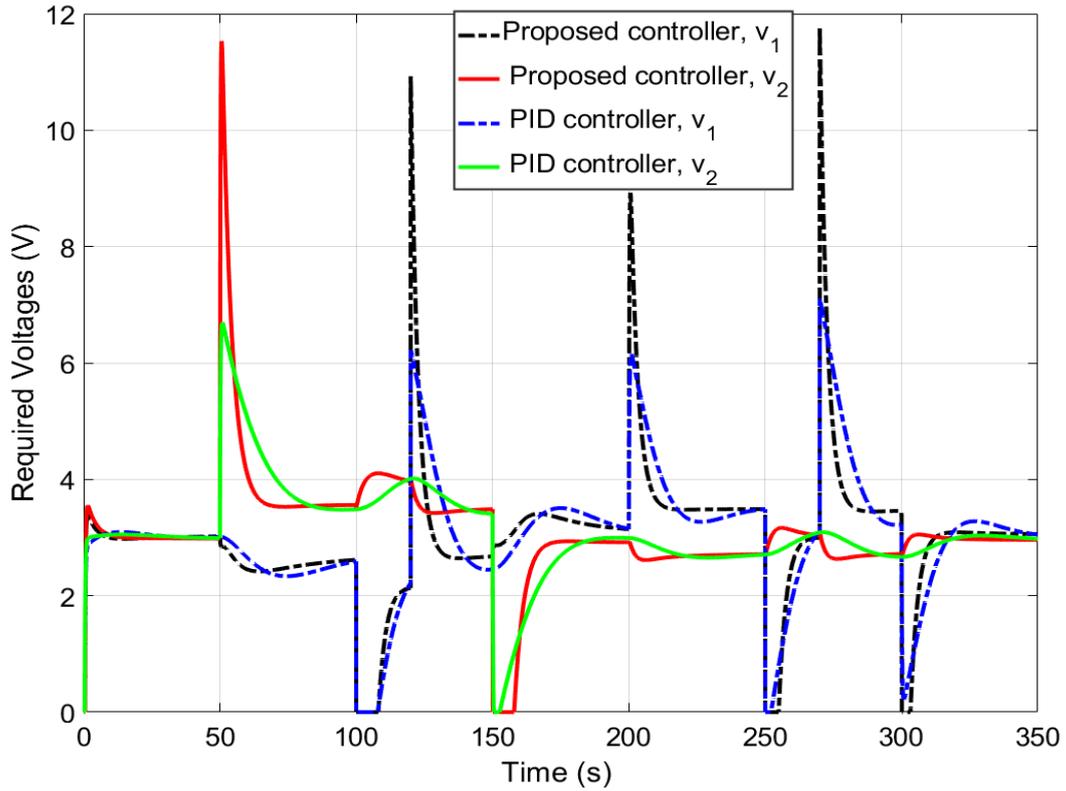


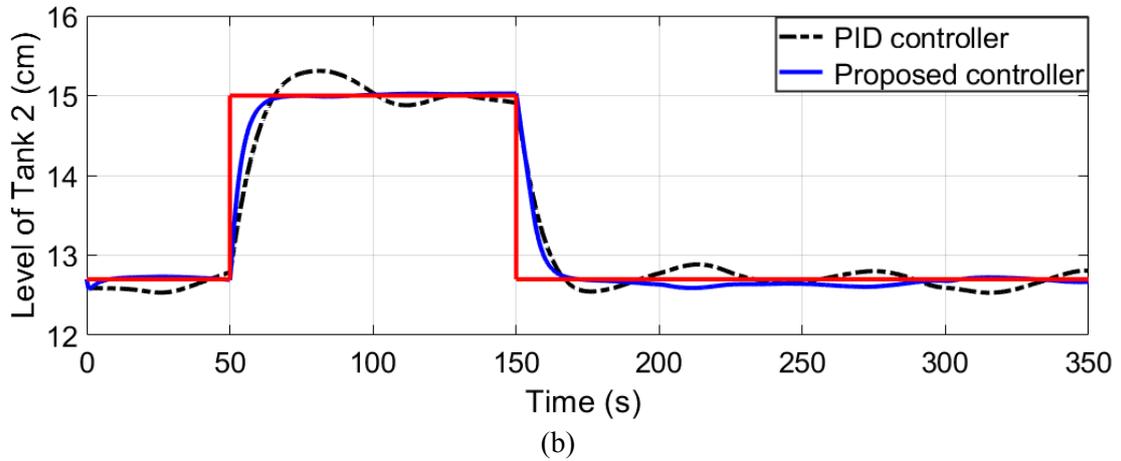
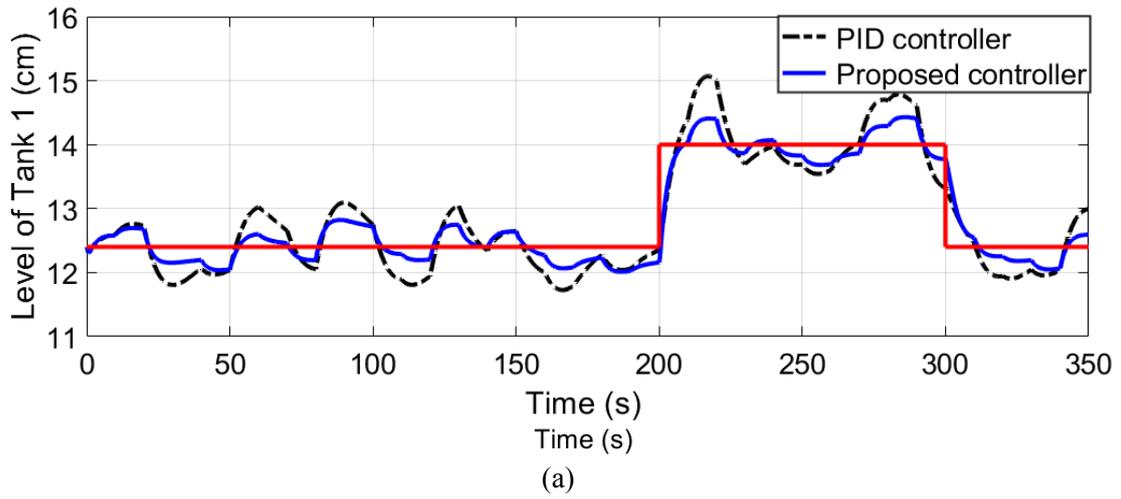
Figure 11. Control signals corresponding to Figure 10.

Table 5. The energy and maximum values of the control signals under the demand variations and the output disturbance.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
Maximum value	<b>7.1075</b>	11.7893	<b>6.694</b>	11.5294
Energy	<b>36236</b>	37175	<b>36063</b>	37167

Table 6. Performance indices of the PID and the proposed controllers under the demand variations and the output disturbance.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
MSE	0.2347	<b>0.1423</b>	0.1667	<b>0.1028</b>
ISE	78.7344	<b>46.0058</b>	55.1167	<b>33.1783</b>
IAE	93.2287	<b>52.6756</b>	66.2362	<b>36.1870</b>
ITAE	17790	<b>9569.3</b>	8457.2	<b>4925.4</b>



**Figure 12.** The performance of the controlled liquid level of Tanks 1 and 2 under the demand variations and the parameter uncertainty.

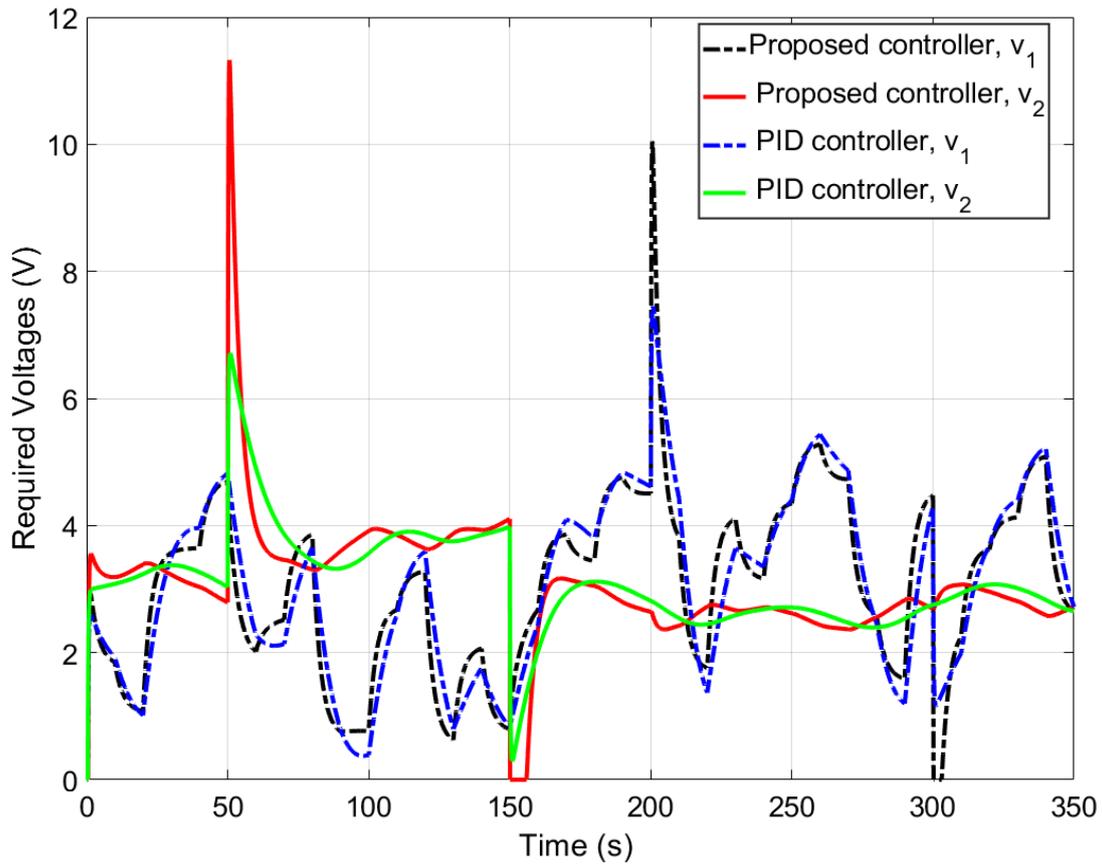


Figure 13. Control signals corresponding to Figure 12.

The simulation results of the disturbance rejection test are given in Figures 10a and 10b, which verify that the structured H-infinity controller can guarantee robustness and enhance the performance of the controlled system in the presence of disturbance. Here, the magnitude of the disturbance is 2 cm which is added to the output  $y_1$  at  $t=100-120$  s and  $t=250-270$  s. Figure 11 shows the outputs of the PID controller and the structured H-infinity controller in the presence of disturbance. The maximum value and energy of control signals are reported in Table 3, which indicates that introducing the disturbance into the system causes an increase in energy and maximum value of control signals. In Table 6, the errors of the closed-loop quadruple tank system are presented. Once again, the structured H-infinity controller achieves a lower error than the PID controller does.

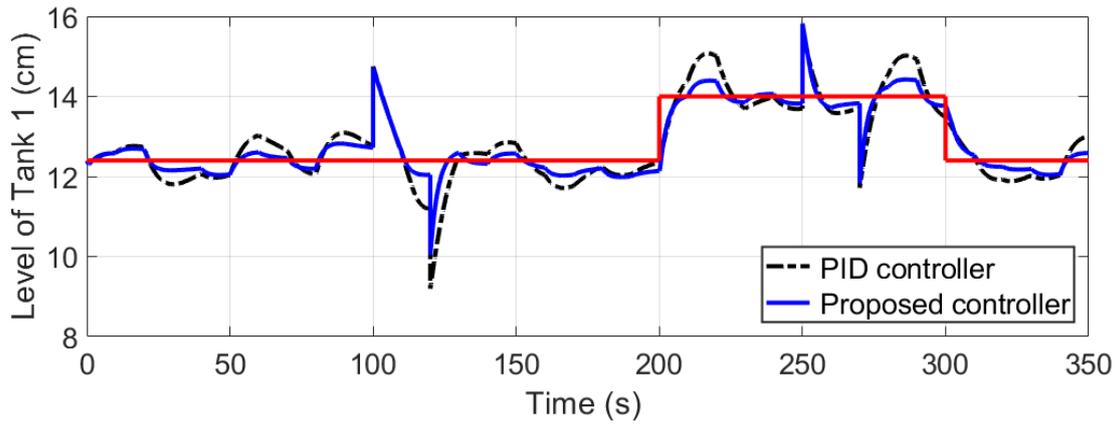
**Table 7.** The energy and maximum values of the control signals under the demand variations and the parametric uncertainty.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
Maximum value	<b>7.4501</b>	10.0451	<b>6.7136</b>	11.3249
Energy	39977	<b>39647</b>	<b>35880</b>	36858

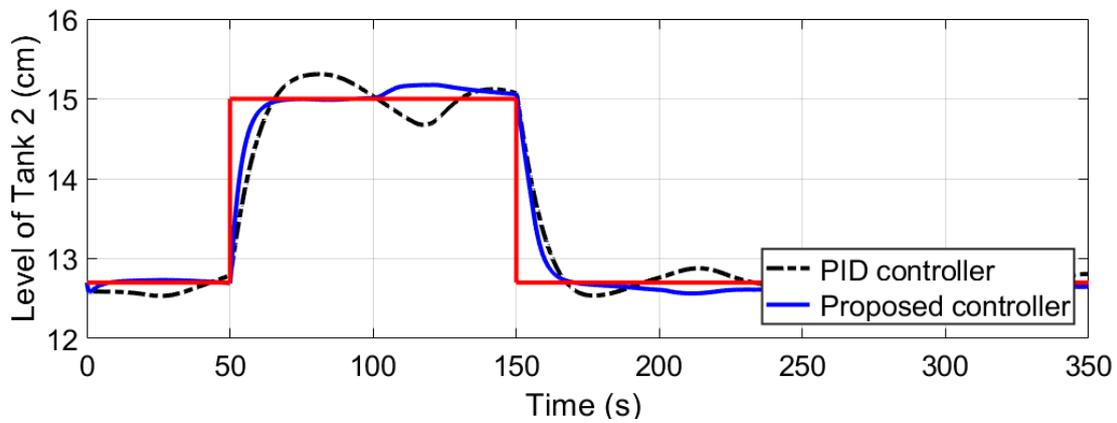


**Table 8.** Performance indices of the PID and the proposed controllers under the demand variations and the parametric uncertainty.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
MSE	0.2005	<b>0.0837</b>	0.1221	<b>0.0897</b>
ISE	70.0578	<b>28.0933</b>	41.5997	<b>28.8869</b>
IAE	133.8407	<b>79.5947</b>	58.4112	<b>32.5866</b>
ITAE	24313	<b>14553</b>	79143	<b>47404</b>



(a)



(b)

**Figure 14.** The performance of liquid level controllers under the demand variations and the output disturbance and the parameter uncertainty.

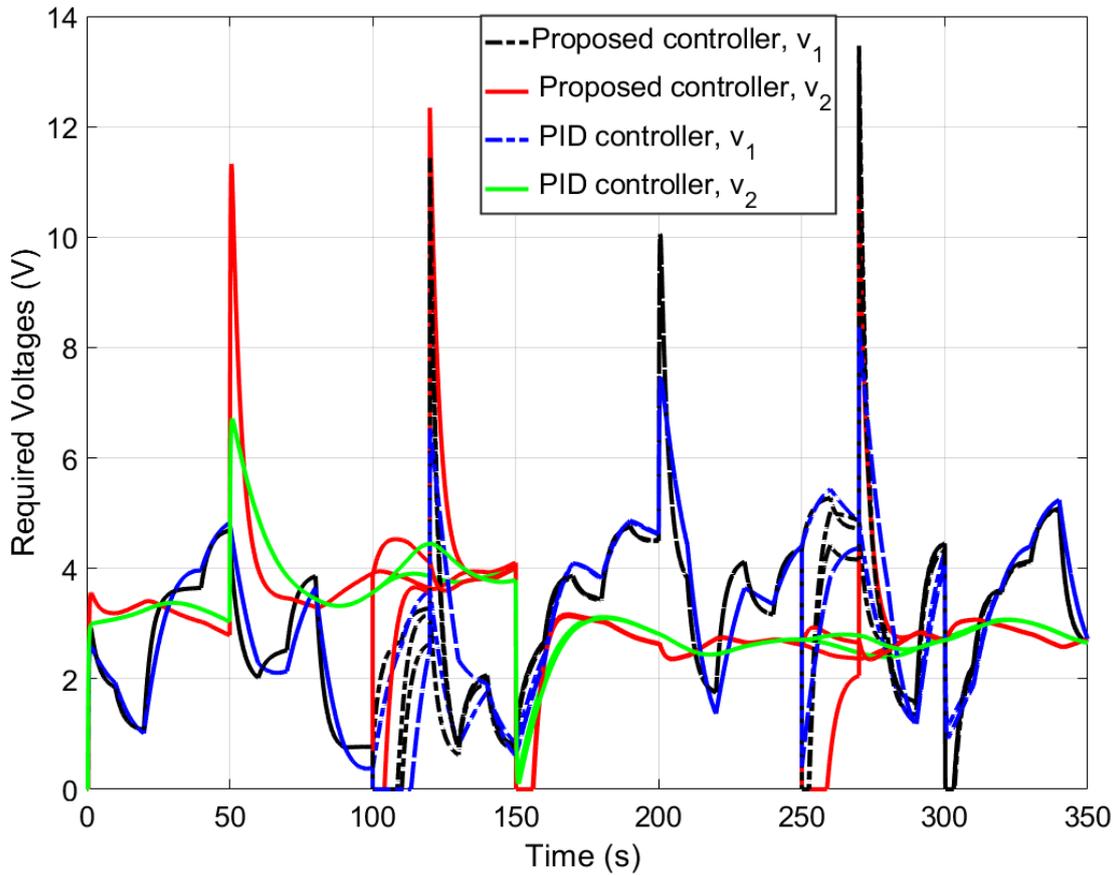


Figure 15. Control signals corresponding to Figure 14.

Table 9. The energy and maximum values of the control signals under the demand variations, the output disturbance and the parameter uncertainty.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
Maximum value	<b>8.3661</b>	12.9513	<b>6.7136</b>	11.3249
Energy	<b>40217</b>	41026	<b>36855</b>	37868

Table 10. Performance indices of the PID and the proposed controllers under the demand variations, the output disturbance and the parameter uncertainty.

	Tank 1		Tank 2	
	PID	Structured H-infinity controller	PID	Structured H-infinity controller
MSE	0.3819	<b>0.1888</b>	0.1354	<b>0.0950</b>
ISE	130.4221	<b>62.4211</b>	46.1843	<b>30.7704</b>
IAE	163.8281	<b>100.1702</b>	62.8946	<b>39.6472</b>
ITAE	29069	<b>17613</b>	82341	<b>58202</b>

In robustness to the parametric uncertainty test,  $\pm 50\%$  of uncertainty in coefficient  $a_1$  (cross – sectional area of the outlet pipe from Tank 1) was considered using inform random input. Figures 12a and 12b illustrate the transience performances of the quadruple tank system with the structured H-infinity controller and the PID controller. The structured H-infinity controller

handles the parametric uncertainty better than the PID controller does. Figure 13 is given to display the outputs of the PID controller and the structured H-infinity controller. The maximum value and energy of control signals are reported in Table 7 under the demand variations and the parametric uncertainty.  $\pm 50\%$  of uncertainty in coefficient  $a_1$  causes an increase in energy and maximum values of control signals for Tank 1. Performance indices for the scenario of the parametric uncertainty are given in Table 8.

The robustness test under the demand variations, the output disturbance and the parametric uncertainty together is taken into consideration and the simulation results are given in Figures 14a and 14b. Simulation results verify that the structured H-infinity controller ensures robust stability and improves the performance of the controlled system in comparison with the standard PID controller. Figure 15 is given to compare the outputs of the PID and the structured H-infinity controller under the demand variations, the output disturbance and the parametric uncertainty together. In Table 9, the maximum value and energy of control signals are reported. The energies of control signals increased to 40217 and 41026 to compensate effects of the disturbance and the parametric uncertainty for Tank 1. Performance indices for the last scenario are given in Table 10. It can be seen that the PID controller is less successful than the structured H-infinity controller in terms of error-dependent performance indices. To increase the performance of the PID controller, an intelligent controller might be employed as discussed in (Hilmi, 2019).

#### 4. Conclusion

The quadruple tank system is a challenging multivariable industrial process comprising four interconnected tanks, two level sensors and two input pumps. This paper presents the design and analysis of a structured H-infinity controller for such a quadruple tank system. The second-order structured H-infinity controller (its order is quite lower than the order of the standard H-infinity controller) is computed using the structured H-infinity control method. A comparison with a classical PID controller is also carried out to demonstrate the superiority of the structured H-infinity controller despite its simple implementation. The tracking performances of controllers under the demand variations, the output disturbance and the parametric uncertainty are illustrated in extensive simulation studies. The simulation results show that the proposed controller achieves a good level of position control on the quadruple tank system and disturbance rejection and robustness to parametric uncertainty. The closed-loop system with the structured H-infinity controller provides better time-domain parameters and error-dependent performance indices than the classical PID controller does. Future work will be the implementation of the proposed controller on a real system.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Bennani, C., Bedouhene, F., Zemouche, A., Bibi, H., Chaib-Draa, K., Aitouche, A., & Rajamani, R. (2018). Robust  $H_\infty$  Observer-Based Stabilization of Linear Discrete-Time Systems with Parameter Uncertainties. In Annual American Control Conference (ACC) (pp. 4398-4402). IEEE.
- Gahinet, P., & Apkarian, P. (2011, January). Structured  $H_\infty$  synthesis in MATLAB. IFAC Proceedings Volumes, 44(1), 1435-1440.
- Gahinet, P., & Apkarian, P. (2012, October). Frequency-domain tuning of fixed-structure control systems. In Proceedings of 2012 UKACC International Conference on Control (pp. 178-183). IEEE
- Hilmi, Z. (2019) Effective Control of the Developmental Current of a Serial DC Motor with a Fuzzy Tuned-PI Controller Zeta Converter. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 196-211.
- Johansson, K. H. (2000). The quadruple-tank process: A multivariable laboratory process with an adjustable zero. *IEEE Transactions on control systems technology*, 8(3), 456-465.
- Mehri, E., & Tabatabaei, M. (2021). Control of quadruple tank process using an adaptive fractional-order sliding mode controller. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 32(3), 605-614.
- Meng, X., Yu, H., Zhang, J., Xu, T., & Wu, H., (2021). Liquid level control of four-tank system based on active disturbance rejection technology. *Measurement*, 175, 109146.
- Mizumoto, I., Ikeda, D., Hirahata, T., & Iwai, Z. (2010). Design of discrete time adaptive PID control systems with parallel feedforward compensator. *Control Engineering Practice*, 18(2), 168-176.
- Naami, G., Ouahi, M., Rabhi, A., Tadeo, F., & Tuan, V. L. B. (2022). Design of robust control for uncertain fuzzy quadruple-tank systems with time-varying delays. *Granular Computing*, 1-14.
- Osman, A. Kara, T., & Arıç, M. (2021). Robust adaptive control of a quadruple tank process with sliding mode and pole placement control strategies. *IETE Journal of Research*, 1-14.
- Pradhan, J. K., & Ghosh, A., (2022). Design and implementation of decoupled periodic control scheme for a laboratory-based quadruple-tank process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 236(1), 212-224.
- Shah, D.H., & Patel, D. M. (2019). Design of sliding mode control for quadruple-tank MIMO process with time delay compensation. *Journal of Process Control*, 76, 46-61.
- Skogestad, S., & Postlethwaite, I. (2007). *Multivariable feedback control: analysis and design* (Vol. 2). New York: Wiley.
- Son, N. N. (2020). Level control of quadruple tank system based on adaptive inverse evolutionary neural controller. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 18(9), 2386-2397.
- Thamallah, A. Sakly, A., & M'Sahli, F. (2019). A new constrained PSO for fuzzy predictive control of Quadruple-Tank process. *Measurement*, 136, 93-104.
- Vijay Anand, J., & Manoharan, P. S. (2022). Decentralized robust evolving cloud-based controller for two input two output systems. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 44(5), 1056-1069.
- Wei, L., Fang, F., & Shi, Y. (2013). Adaptive backstepping-based composite nonlinear feedback water level control for the nuclear U-tube steam generator. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22(1), 369-377.
- Zare, K., Shasadeghi, M., Niknam, T., Asemani, M., H., & Mobayen, S., (2022). Constrained Robust Control by a Novel Dynamic Sliding Mode Surface. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 20(3), 823-830.

## (E)-4-bromo-5-floro-2-(((4-(fenilamino)fenil)imino)metil)fenol Bileşiğinin Kimyasal Aktivite ve Spektroskopik Çalışmaları

Sedanur KALECİK<sup>3a</sup>, Enis GÜZEL<sup>1a\*</sup>, Onur Erman DOĞAN<sup>2b</sup>, Erbil AĞAR<sup>2a</sup>, Metin YAVUZ<sup>1b</sup>

### Öz

Başlıkta verilen ve daha önce tek kristal X-ışını kırınım çalışması yapılan bileşiğin FT-IR, UV-Vis, <sup>13</sup>C NMR ve <sup>1</sup>H NMR yöntemleri ile spektroskopik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Spektroskopik sonuçlar kuramsal olarak elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Molekülün yüzey hatlarını elde etmek için Hirshfeld yüzey analizi kullanılmıştır. Ek olarak, bileşikte yer alan atomların etkileşimlerini tespit etmek için 2-D (2 boyutlu) parmak izi grafikleri hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalar için baz seti olarak 6-31G (d,p) seçildi ve hesaplamalarda yoğunluk fonksiyonel kuramı (YFK) olan B3LYP yönteminden yararlanılmıştır. <sup>1</sup>H NMR ve <sup>13</sup>C NMR kimyasal kaymaları GIAO yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Ayrıca, çalışılan bileşiğin optik özellikleri araştırılmıştır. Molekülün kimyasal aktivite parametreleri olan sertlik ve yumuşaklık analizleri, moleküler elektrostatik potansiyeli (MEP), HOMO-LUMO, MPA, NPA fonksiyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** C<sub>19</sub>H<sub>14</sub>BrFN<sub>2</sub>O, YFK, NMR, MEP, Hirshfeld Yüzey Analizi

## Chemical Activity and Spectroscopic Studies of (E)-4-bromo-5-fluoro-2-(((4-(phenylamino) phenyl)imino)methyl)phenol Compound

### Abstract

Spectroscopic studies of the compound given in the title and for which single-crystal X-ray diffraction studies were performed before, were carried out by FT-IR, UV-Vis, <sup>13</sup>C NMR and <sup>1</sup>H NMR methods. The results were compared with the theoretically obtained data. Hirshfeld surface analysis was used to obtain the surface contours of the molecule. In addition, 2-D (2-dimensional) fingerprint graphs were calculated to detect the interactions of atoms in the compound. For the theoretical calculations, 6-31G(d,p) was chosen as the basis set and the density functional theory (DFT) B3LYP method was used in the calculations. Chemical shifts of <sup>1</sup>H NMR and <sup>13</sup>C NMR were calculated by the GIAO approach. In addition, the optical properties of the studied compound were investigated. Hardness and softness analyzes, which are the chemical activity parameters of the molecule, molecular electrostatic potential (MEP), HOMO-LUMO, MPA, NPA function analyzes were performed.

**Keywords:** C<sub>19</sub>H<sub>14</sub>BrFN<sub>2</sub>O, DFT, NMR, MEP, Hirshfeld Surface Analysis

<sup>1a\*</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Samsun, TÜRKİYE, [enisguzel2@gmail.com](mailto:enisguzel2@gmail.com)

<sup>1b</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Samsun, TÜRKİYE, [myavuz@omu.edu.tr](mailto:myavuz@omu.edu.tr)

<sup>2a</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Samsun, TÜRKİYE, [erbagar@omu.edu.tr](mailto:erbagar@omu.edu.tr)

<sup>2b</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Samsun, TÜRKİYE, [oedogan@omu.edu.tr](mailto:oedogan@omu.edu.tr)

<sup>3a</sup>Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Erzurum, TÜRKİYE, [sedanurkalecik@atauni.edu.tr](mailto:sedanurkalecik@atauni.edu.tr)

<sup>1a\*</sup><https://orcid.org/0000-0001-8068-2934>

<sup>1b</sup><https://orcid.org/0000-0002-5238-8911>

<sup>2a</sup><https://orcid.org/0000-0003-4328-1669>

<sup>2b</sup><https://orcid.org/0000-0002-1956-7918>

<sup>3a</sup><https://orcid.org/0000-0003-0977-3598>

## 1. Giriş

(E)-4-bromo-5-floro-2-((4-(fenilamino)fenil)imino)metil) fenol bileşiği laboratuvar ortamında sentezlenerek X-ışını kırınım yöntemi kullanılarak başlık bileşiğinin yapısal özellikleri olan geometrik parametreler, hidrojen bağları ve kristali meydana getiren etkileşimler Sedanur Kalecik ve arkadaşları tarafından yapılan makalede ve Sedanur Kalecik'in yüksek lisans tezinde incelenmiştir (Kalecik ve arkadaşları, 2017; Kalecik, 2018). Organik kristaller günlük hayatta birçok alanda etkilerinin görüldüğü önemli yapılardır. Teknolojinin gelişmesi günlük hayatımızda doğrudan etkilerini gösterdiği gibi kimyasal sentezleme alanında da gelişmelere yol açmıştır. Teknolojinin getirdiği fırsatlar ile birlikte kristal yapılar artık daha kontrollü üretilebilmektedir. Schiff bazları günlük hayatımıza giren önemli bir bileşik sınıfı olmuştur. Bu baz yapıları gıda, ilaç, su geçirmeyen ürün sektöründe, fotokromik ve termokromik özellikleri açısından zengin bir uygulama alanına sahiptir (Demircioğlu ve arkadaşları, 2019). Anilin türevleri ile salisilaldehit türevlerinin birleştirilmesi ile çok çeşitli N-salisilidenanilin Schiff bazları sentezlenmiştir. Kromik renk değişiminin mekanizmasının bir keto-enol tautomerizminden kaynaklanmaktadır. N-salisilidenanilin türevleri, genel olarak termokromizm sergiledikleri ve bazılarının ise katı halde fotokromizm göstermektedir. Ayrıca keto formu renkli, enol formu ise renksizdir. Renk geçişi sıcaklıktaki değişiklikler veya ışınlama ile ilişkilidir. Bir bileşiğin termokromik davranışı ile iki aromatik halka arasındaki dihedral açı ( $\Phi$ ) arasında bir bağlantı önerilmiştir.  $\Phi < 25^\circ$  olanların güçlü termokromik olma olasılığı daha yüksektir. (Çoruh ve arkadaşları, 2003; Salamci ve arkadaşları, 2006). Daha büyük düzlemler arası açı, artan yörünge örtüşmesine ve  $\pi$ -sistemine daha fazla yer değiştirmeye izin verir. Bu durum ise N atomunun bazlığını ve dolayısıyla termokromizmi azaltır. İkame edicilerin -OH bağ gücü nitrojen kabul etme yeteneği ve kristal paketleme üzerindeki etkisinin de N-salisilidenanilinlerin kromik davranışında önemli bir etkiye sahiptir. Ek olarak, oda sıcaklığından yüksek sıcaklık değerlerinde tipik olarak parlak kırmızı/turuncu olan N-salisilidenanilinlerin, oda sıcaklığında daha soluk ve sarı olanlardan daha güçlü termokromik olma eğiliminde oldukları da gözlemlenmiştir (Hadjoudis ve Mavridis, 2004).

Kuramsal çalışmalar moleküllerin kimyasal aktivasyon analizi sonucunda incelenmesinde ve deneysel verilerle karşılaştırılmasında, yapının bağ yapmaya elverişli yada elverişli olmayan bölgelerin önceden hesaplanarak oluşturulmak istenen bileşiğin molekül grupları hakkında ön bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle, daha önceden tek kristal X-ışını kırınım çalışması yapılan ve literatürdeki deneysel verilerle en çok örtüşen kimyasal hesaplama yöntemi olan Yoğunluk Fonksiyonel Kuramı (YFK) tercih edilmiştir. B3YLP modeli ve 6-31G(d,p) baz seti kullanıldığında, molekülün deneysel verileriyle daha uyumlu bir optimize yapı elde edilmiştir. Seçilen yöntem ve baz setinin uygunluğunu denetlemek ve göstermek için optimize edilmiş yapının geometrik verileri

daha önceden çalışılmış olan tek kristal X-ışını kırınımı verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, en yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) ve en düşük boş moleküler orbital (LUMO) ile optimize yapının kararlılığı ve kimyasal aktivasyona olan eğilimi incelenmiştir. Kimyasal aktivasyon parametreleri ile kinetik stabilite, kimyasal süreklilik ve molekül içi yük iletimi belirlenmiştir. Ek olarak moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) analizi ile elektronca zengin ve fakir bölgeler tayin edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. (E)-4-bromo-5-floro-2-((4-(fenilamino)fenil)imino)metil Bileşiğinin Sentezi

Başlıkta adlandırılması yapılan bileşiğinin oluşturulması için kullanılan ligandlar ve izlenen kimyasal süreç bilgileri Sedanur Kalecik ve arkadaşları tarafından yapılan makalede ve Yüksek Lisans Tez'inde verilmiştir (Kalecik ve arkadaşları, 2017; Kalecik, 2018).

### 2.2. Spektroskopik Ölçümler

Çalışılan bileşiğin IR spektrumu Bruker Vertex 80V FT-IR spektrometresiyle elde edilmiştir. Sentezi yapılan bileşik kristallendirildikten sonra toz haline getirilmiştir. Daha sonra KBr ile dairesel bir şekil haline getirilerek 650-4000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında FT-IR spektrumları alınmıştır. UV-Vis spektrumu Shimadzu 2600 UV-Visible spektrometresi ile elde edildi.  $^1\text{H-NMR}$  ve  $^{13}\text{C-NMR}$  spektrumları Bruker Avance III HD 400 MHz NMR Spektrometresi ile  $\text{d}_6\text{-DMSO}$  çözücüsü kullanılarak alınmıştır.

### 2.3. X-ışını Kristalografi Çalışmaları

Başlıktaki bileşiğin kırınım şiddet verileri, oda sıcaklığında (296 K) bir Xcalibur, Eos difraktometresi ile Molibden  $\text{K}_\alpha$  ( $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$ ) ışınması kullanılarak toplanmıştır. Veri toplama ve hücre iyileştirme, X-AREA (Stoe & CieX\*area Version 1.18 ve X-red32 Version 1.04, 2002) kullanılarak gerçekleştirilirken, X-RED32 (Stoe & CieX\*area Version 1.18 ve X-red32 Version 1.04, 2002) kullanılarak veri indirgeme uygulandı. Yapılar SHELXS-97 (Sheldrick, 1997) kullanılarak doğrudan yöntemlerle çözüldü ve WinGX (Farrugia, 2012) program takımında uygulanan SHELXL-97 (Sheldrick, 1997) kullanılarak  $F^2$  üzerinde tam matris-en küçük kareler yöntemiyle artırılmıştır. Tüm H atomları idealleştirilmiş pozisyonlara geometrik olarak yerleştirildi ve başlık bileşiği için bir biniş modeli kullanılarak işlendi. Bağ uzunlukları sırasıyla metil grubu  $\text{CH}_3$  ve aromatik CH

atomları için 0.96 ve 0.93 Å'da sabitlenmiştir. Başlıktaki bileşiğe ait kristal verileri ve iyileştirme parametreleri Sedanur Kalecik ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır (Kalecik ve arkadaşları, 2017).

## 2.4. Deneysel Hesaplamalar

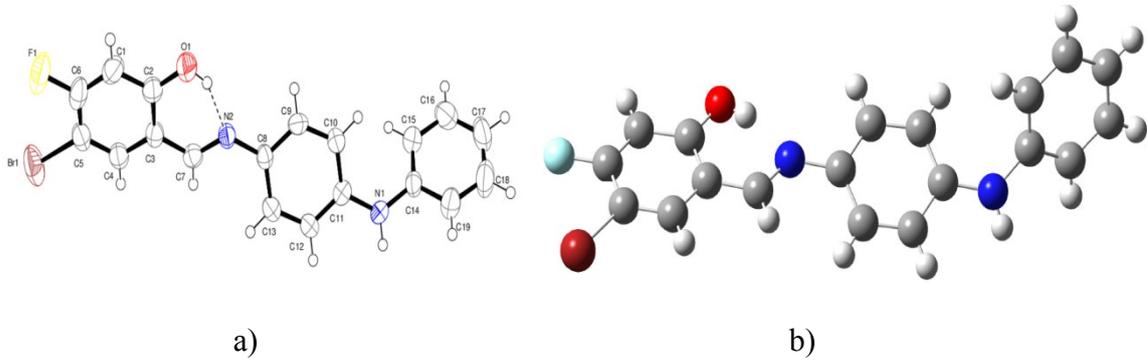
Yapısını aydınlattığımız bileşik için tüm kuramsal hesaplamalar, Gaussian 09W (Frisch ve arkadaşları, 2009) paket programında yer alan B3LYP seviyelerinde, yoğunluk fonksiyonel kuramının (YFK) 6-31G(d,p) temel set fonksiyonu ile gradyan geometri optimizasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değişim kısmı için üç parametrelili hibrit fonksiyonel (B3) ile gradyan düzeltmeli YFK'yı (Parr ve Yang, 1984) ve moleküler yapının hesaplanması için uygun bir yaklaşım olarak kabul edilen Lee-Yang Parr (LYP) (Lee ve arkadaşları, 1988) korelasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Kuramsal hesaplamalardan yararlanılarak enerji değerleri, FT-IR, UV-Vis ve NBO fonksiyon analizi, MEP, kimyasal aktivite, Mulliken nüfus analizi ((Mulliken Population Analysis) (MPA)) ve optimize edilmiş yapının doğal nüfus analizleri ((Natural Population Analysis) (NPA)) yapılmıştır. NPA prosedürlerinden elde edilen doğal atomik yük değerleri NBO analizinden elde edilmiştir. Crystal Explorer 3.1 programı ile  $d_{norm}$ ,  $d_i$ ,  $d_e$  ve 2-boyutlu parmak izi grafikleri ile haritalanan Hirshfeld yüzeyi üretilmiştir (Wolff ve arkadaşları,2012). Ek olarak, optimize edilmiş yapı için aynı yöntemlerle harmonik titreşim frekansları hesaplanmıştır. Hesaplanan dalga sayıları 1.0028 (1600  $cm^{-1}$ 'in altındaki dalga sayıları için) ve 0.9627 (1600  $cm^{-1}$ 'in üzerindeki dalga sayıları için) ölçeklendirme faktörleri kullanılarak ölçeklendirilmiştir (Merrick ve arkadaşları, 2007). Ayrıca moleküler yapının  $^{13}C$ -NMR ve  $^1H$ -NMR spektrumları çalışılarak rezonans durumları ve kimyasal kayma değerleri incelenmiştir. Bu durum moleküler yapının manyetik ve elektriksel özelliklerinin anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Optimize Yapı

Başlıktaki bileşiğin X-ışını kırınımı sonucunda elde edilen parametreler sayesinde oluşturulan ORTEP III( %50 olasılıklı) şekli ve hesaplamalar sonucunda elde edilen optimize yapı görüntüsü Şekil 1 de verilmiştir. İncelenen molekül için seçilen geometrik verilerin, teorik YFK/B3LYP/6-31G(d,p) ve X-ışını kırınımı deneysel sonuçları Tablo 1 de karşılaştırılmıştır.





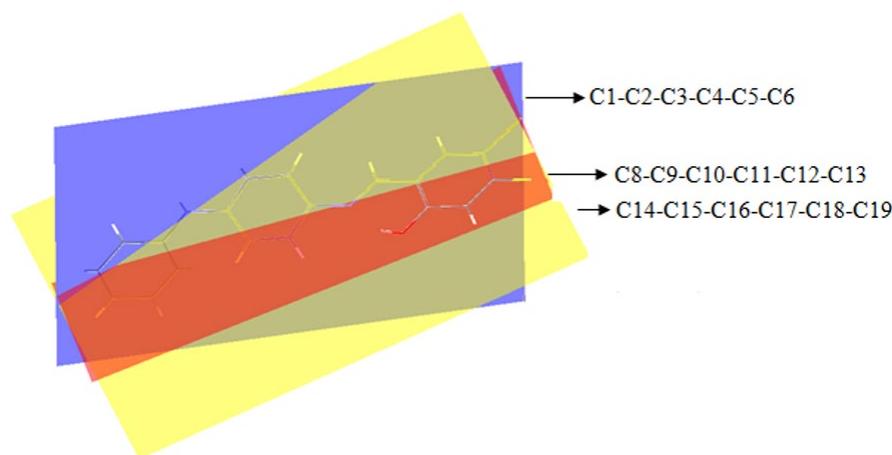
**Şekil 1.** İncelenen moleküle ait a) Ortep III( %50 olasılıklı) ve b) optimize yapı görünümü.

Şekil 1 de ORTEP-III görünümleri ve optimize yapı görünümü gösterilen bileşiğin kristal yapısında birim hücrede sekiz molekülü vardır. Ortorombik kristal sisteminde kristallenen bileşiğin uzay grubu  $Pbca$ 'dır. Moleküler yapı düzlemsel değildir (Ustabas ve arkadaşları, 2006). Başlık bileşiğine ait bağ uzunluğu değerlerinin deneysel verileri sırasıyla  $Br1—C5$ ,  $F1—C6$ ,  $O1—C2$ ,  $N2—C7$ ,  $N2—C8$ ,  $N1—C11$ , ve  $N1—C14$  atom etkileşimleri için 1.877 (5) Å, 1.341 (5) Å, 1.318 (5) Å, 1.292 (5) Å, 1.403 (5) Å, 1.387 (5) Å, 1.399 (5) Å iken, teorik olarak hesaplamalarda ise sırasıyla 1.9004 Å, 1.34 Å, 1.3356 Å, 1.2933 Å, 1.4051 Å, 1.3931 Å, 1.4053 Å olarak hesaplanmıştır. Tablo 1 de verilen teorik ve deneysel geometrik parametrelerde oluşan sapma miktarları, teorik hesaplamaların program tarafından gaz durumunda gerçekleştirilerek olası moleküller arası etkileşim değerlerini ihmal etmesinden kaynaklanmaktadır (Ustabas ve arkadaşları, 2005).

**Tablo 1.** Başlıktaki bileşe ait önemli görülen deneysel ve teorik geometrik parametreler.

Bağ uzunluğu (Å), bağ açısı (°) ve torsiyon açısı (°)	X-ışını kırınımı (deneysel)	YFK/B3LYP/6-31G(d,p)
$Br1—C5$	1.877 (5)	1.9004
$F1—C6$	1.341 (5)	1.34
$O1—C2$	1.318 (5)	1.3356
$N2—C7$	1.292 (5)	1.2933
$N2—C8$	1.403 (5)	1.4051
$N1—C11$	1.387 (5)	1.3931
$N1—C14$	1.399 (5)	1.4053
$C7—N2—C8$	124.4 (4)	122.2808
$C11—N1—C14$	127.7 (4)	129.6409

C4—C5—Br1	121.9 (4)	121.3382
F1—C6—C1	118.5 (5)	118.7191
O1—C2—C1	120.1 (4)	118.731
Br1—C5—C6—F1	0.9 (6)	0.0177
N1—C11—C10—C9	176.9 (4)	178.0481
C14—N1—C11—C12	165.8 (4)	163.9998
C7—C3—C2—O1	0.3 (6)	-0.2236



**Şekil 2.** C<sub>19</sub>H<sub>14</sub>BrFN<sub>2</sub>O molekülünde düzlemlerin yönelimi.

Şekil 2 de gösterilen C1/C6 (R1) benzen halkası kırmızı renkle temsil edilirken, iki benzen halkasının ortasında yer alan C8/C13 (R2) benzen halkası sarı ve C14/C19 (R3) benzen halkası ise mavi renkte temsil edilmiştir. (R1)-(R2) halkaları arasında oluşan dihedral açı 25.66°, (R2)-(R3) benzen halkaları arasında oluşan dihedral açı 51.66° ve (R1)-(R3) benzen halkaları arasında meydana gelen dihedral açı ise 75.85° olarak gözlenmiştir. Bu sonuçlara bakılarak yapının düzlemsel olmadığı görülmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda başlık bileşiği için molekül yapının enol-imin durumunda olduğu belirlenmiştir. O-H...N tipi molekül içi hidrojen bağı ve N-H...O tipi moleküller arasında meydana gelen hidrojen bağı ile bileşiğin kararlı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Ustabas ve arkadaşları, 2005). O-H...N ve N-H...O tipi hidrojen bağı bilgileri Tablo 2 de verilmiştir.

**Tablo 2.** Başlıktaki bileşiğin hidrojen bağı geometrisi (Å, °).

D-H ... A	D-H	H ... A	D ... A	D-H ... A
O1—H01...N2	0.82 Å	1.80 Å	2.535 (4) Å	149 °
N1—H02...O1 <sup>i</sup>	0.84 (4) Å	2.11 (4) Å	2.927 (5) Å	166 (4) °

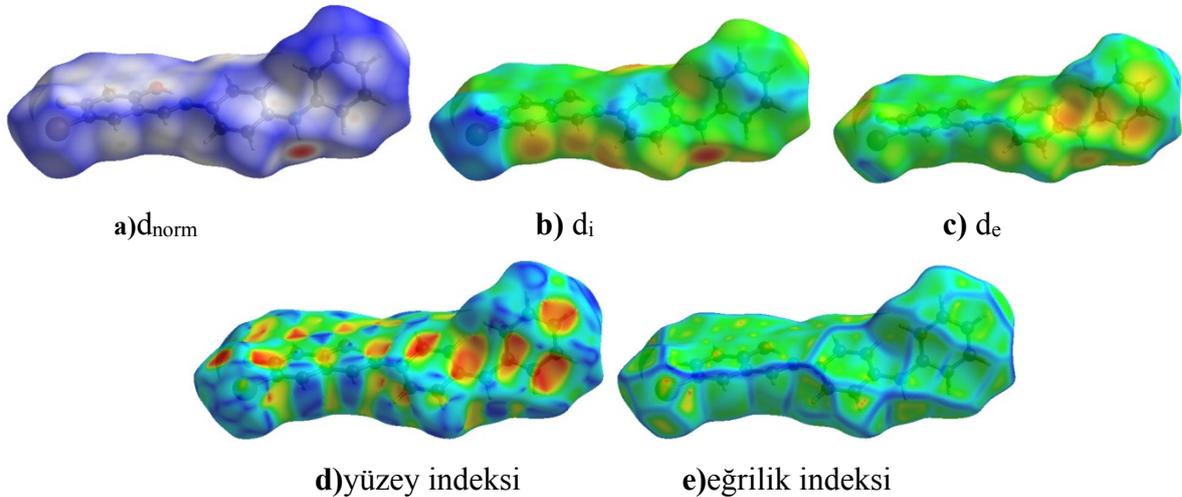
Simetri kodu: (i)  $x-1/2, y, -z+3/2$

### 3.2. Hirshfeld Yüzeysel Analizi (HS)

Bileşikte bulunan atomların arasında gerçekleşen etkileşimin yüzeysel yapı üzerinde renklerle ifade edilmesi ve görsellik kazanması, yüzeysel haritaların oluşturulması açısından iyi bir araçtır. Bu özelliklere ek olarak, bileşik içerisinde yer alan atomların bir birileri ile olan etkileşim yüzdelelerini (%) hesaplaması noktasında çalışmayı etkili kılmıştır.  $d_e$  parametresi sayesinde yüzeye en yakın çekirdek uzaklığı,  $d_i$  sayesinde yüzey içerisindeki en yakın çekirdek uzaklığı ve  $d_{norm}$  normalize edilmiş temas mesafesi hakkında bilgi vermektedir. Bahsi geçen  $d_{norm}$ , Eşitlik (1) de ifade edildiği gibi  $d_e$ ,  $d_i$  ve atomun Van der Waals yarıçap niceliklerine bağlı olarak değişmektedir (Demircioğlu ve arkadaşları,2019).

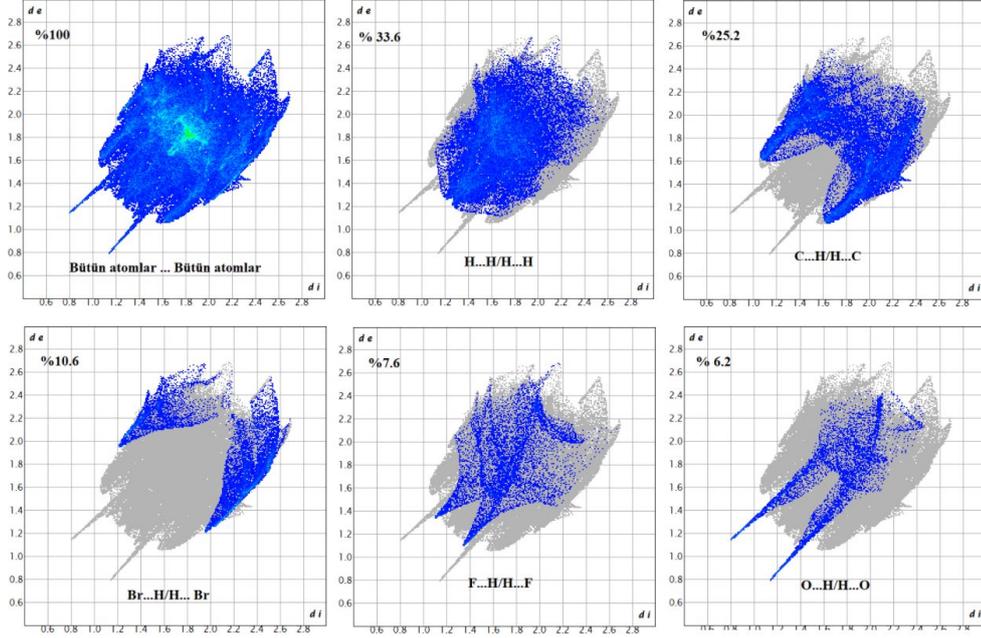
$$d_{norm} = \frac{d_i - d_i^{rdw}}{d_i^{rdw}} + \frac{d_e - d_e^{rdw}}{d_e^{rdw}} \quad (1)$$

$d_{norm}$  eşitliği bileşik içerisinde yer alan atomlar arası hidrojen bağ bölgesinin belirlenmesi bakımından ön bilgi sunmaktadır. Ek olarak,  $d_{norm}$  niceliği üç renkle ifade edilir. Bunlar kırmızı, beyaz ve mavidir. İncelenen bileşikte atomlar Van der Waals yarıçaplarının toplamından elde edilen sonuçtan daha yakın moleküller arası bağ yapabiliyorlarsa, yapılan bu bağ yüzey üzerinde kırmızı bir nokta ile gösterilir (Güzel ve arkadaşları, 2020). Yapılan çalışmada kırmızı noktaların gözlenmesi, bu noktalardan başka moleküllerle etkileşim olacağına dair bilgi sunmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilerde Van der Waals yarıçaplarının toplamından çok uzak bir sonuç elde edilirse bu mavi renkle nispeten uzaksa beyaz renkle temsil edilmektedir (Ersanlı ve arkadaşları, 2018). Eğrilik indeksi,  $d_{norm}$ ,  $d_e$ ,  $d_i$  ve yüzey indeksi gibi özelliklere dair görünüm Şekil 3 de verilmiştir.  $d_{norm}$ ,  $d_e$  ve  $d_i$  yüzeylerine ait değerler sıralı bir biçimde  $-0.5172 \text{ \AA}$  ile  $1.1427 \text{ \AA}$ ,  $0.7975 \text{ \AA}$  ile  $2.7267 \text{ \AA}$  ve  $0.7985 \text{ \AA}$  ile  $2.6956 \text{ \AA}$  olarak, eğrilik indeksi ve şekil indeksi ise sırasıyla  $-4$  ile  $4$  ve  $-1$  ile  $1$  aralığında gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Hirshfeld yüzeyine ait a)  $d_{norm}$ , b)  $d_i$ , c)  $d_e$ , d) yüzey indeksi ve e) eğrilik indeksi haritası.

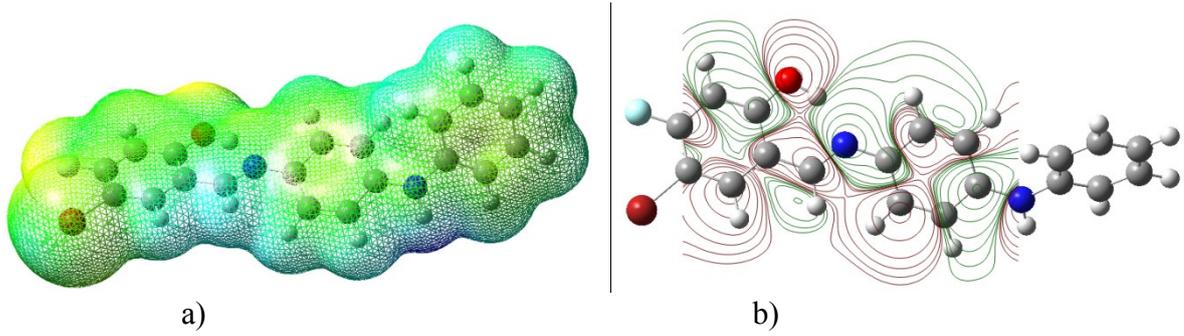
Yapıya ait 2-boyutlu parmak izini ifade eden gösterimler Şekil 4 de verilmiştir. Başlıktaki bileşik için Hirshfeld yüzeyine ait yüksek katkı değerleri Br...H/H...Br (%10.6), H...H/H...H (%33.6), C...H/H...C (%25.2), F...H/H...F (%7.6) ve O...H/H...O (%6.2) etkileşimlerine aittir.



Şekil 4.Hirshfeld yüzeyi atomlar arası etkileşim gösterimi.

### 3.3. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP)

MEP haritalarında elektrofilik ve nükleofilik özelliklerinin incelenmesinde ve değerlendirilmesinde renk değişimleri kullanılır. Elektron sayısı az olan bölgeler mavi renkle ifade edilirken, elektron sayısı fazla olan bölgeler kırmızı renk ile ifade edilmektedir (Seth, 2018). Negatif bölgeler içerisindeki en yüksek değer oksijen atomları üzerinde gözlenirken, pozitif bölgeler içindeki en yüksek değer hidrojen atomlarının üzerinde gözlenmiştir. Hidrojen atomlarının sayının çok olduğu bölgelerde ve nitrojen atomlarının üzerinde yeşil renk geçişleri gözlenmiştir. Elektrofilik bölgeler oksijen ve nitrojen atomlarının bulunduğu bölgeleri ifade ederken, nükleofilik bölgeler pozitif atomların çok olduğu bölgeleri temsil etmektedir (Şekil 5a). Şekil 5b de verilen MEP kontur yüzeyi, elektron çokluğuna dair 2-boyutlu yüzey eğrilerini göstermektedir. Bu gösterge, oksijen ve nitrojen atomlarının olduğu bölgeleri iki boyutta kırmızı yüzey eğrileri ile gösterirken, diğer atomların bulunduğu bölgeleri ise yeşil yüzey eğrileri ile gösterilmektedir. MEP haritasından elde edilen bu bilgiler, moleküler yapının başka ligandlarla olan olası etkileşim durumları hakkında araştırmacıya ön bilgi sunmaktadır. Bu kapsamda araştırmacı ekleyeceği ligandlar için kırmızı noktaların olası bağlanma noktaları mavi olan noktaların ise bağlanma yapmayacak olan noktalar bilgisini çalışmasına başlamadan öngörebilmektedir.

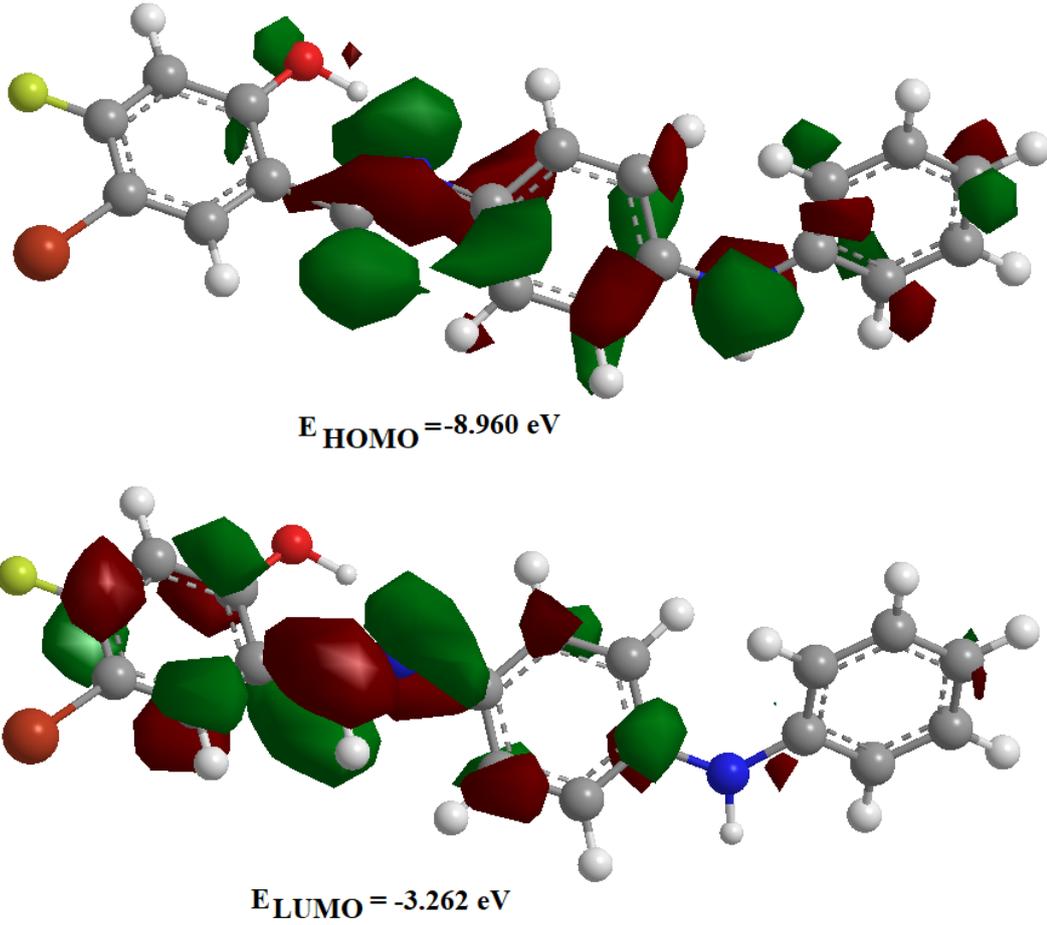


Şekil 5. Başlık bileşiğine ait a) MEP ve b) MEP kontür görünümü.

### 3.4. Kimyasal Aktivite ve Sınır Orbital Parametreleri

Sınır orbitalleri, en yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) ve en düşük boş moleküler orbital (LUMO) ile birlikte ifade edilmektedir. Sınır orbitalleri moleküler yapıların kararlılığını, kimyasal aktivasyonunu, kinetik stabilitesini, ışık soğurma miktarını, optiksel ve elektrik temelli özelliklerini ortaya çıkarmakta kullanılmaktadır (Güzel ve arkadaşları, 2021). İncelenen başlık bileşiğine ait HOMO ve LUMO moleküler orbital yüzeyleri Şekil 6 da yer almaktadır. HOMO enerjisi 8.960 eV, LUMO enerjisi ise 3.262 eV teorik olarak elde edilmiştir. Enerjiler arasındaki fark incelenen bileşiğin kararlı bir yapıda olduğunu gösteren  $\Delta E=5.698$  eV mertebesinde elde edilmiştir. Kimyasal sertlik değeri yüksek olan moleküllerin molekül içi yük transferi azdır ve gerçekleşme ihtimali vardır (Ersanli ve arkadaşları, 2017). Yumuşaklık parametresi ise moleküllerin molekül içi yük transferinin fazla olduğunu belirtmektedir. İncelenen molekül için sertlik değeri 2.849 eV iken yumuşaklık parametresi  $0.175$  (eV)<sup>-1</sup> olarak teorik hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Bunların yanı sıra, kimyasal aktivasyon verilerinden hesaplanan elektronegatiflik 6.111 eV değerinde, kimyasal potansiyel -6.111 eV değerinde, elektrofilik indeksi 3.276 eV değerinde ve en yüksek yük transfer parametresi ise 1.072 olacak şekilde elde edilmiştir.

Teorik olarak elde edilen kimyasal aktivasyon parametreleri ile HOMO-LUMO arasındaki  $\Delta E=5.698$  eV'luk yüksek enerji farkı, yüksek sertlik ve düşük yumuşaklık değerleri başlıktaki bileşiğin düşük kimyasal aktivasyona ve yüksek kinetik stabiliteye sahip kararlı ve sert bir bileşik olduğu kuramsal olarak göstermektedir.



Şekil 6. Başlıktaki bileşiğe ait HOMO ve LUMO gösterimleri.

### 3.5. Lokal Kimyasal Aktivite Hesaplamaları: Net Yükler (MPA&NPA)

Yapılan bu çalışmada bileşiğin daha iyi anlaşılması için Mulliken nüfus analizi ((Mulliken Popülasyon Analysis) (MPA)) ve doğal nüfus analizi ((Natural Popülasyon Analysis) (NPA)) yapılmıştır. Bundan sonraki süreçte İngilizce kısaltmalar kullanılacaktır. Yapılan bu analizler sonucunda bileşiğin elektrophililik ve nükleofililik özellikleri hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında bileşiğin hangi noktalarda bağ yapma isteğinin olduğu belirlenmiştir. Popülasyon analizinin temelinde deneysel olarak elde edilemeyen verilerin matematiksel olarak teorik hesaplamalar sonucunda elde edilmesi vardır. Bu kuramsal çalışma sonucunda yapıya ait dalga fonksiyonları ve elektron yoğunlukları gibi özellikler elde edilebilir (Bahgat ve Fraihat, 2015; Mulliken, 1995).

MPA'nın yetersizliği, bir orbitale ikiden daha fazla elektron atanması ya da iyonik bağlanmanın olduğu yapılarda yük dağılımındaki gerçek değerlerden uzak sonuçlar vermesidir. Ancak elektronca zengin (nükleofilik) ve elektronca fakir (elektrophilik) bölgelerin belirlenmesinde oldukça etkili bir yöntemdir (Öztürk ve arkadaşları, 1999). Yapılan MPA çalışmasında faydalı olan bu

özelliik üzerinde durulmuştur. MPA ve NPA kimyasal tepkimedeki ayırım bölgelerini, elektron yoğunluğunun dağılım bölgelerini, moleküler elektrostatik potansiyel bölgelerini ve Hirshfeld yüzey hatlarının oluşturulması hakkında ön bilgi sağlamaktadır. Yapıya ait pozitif yükler C1, C7, C10, C13, C14, C17, C19 ve hidrojen atomları üzerinde, negatif yükler ise Br1, N2, N1, F1, O1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C11, C12, C15, C16, C18 atomları üzerinde yer almaktadır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Teorik olarak elde edilen MPA ve NPA net yük değerleri.

Atom	MPA	NPA	Atom	MPA	NPA
C1	0.318162	0.16150	C13	0.175053	0.11380
C2	-0.110622	-0.27952	C14	0.047665	-0.19250
C3	-0.096928	-0.22046	C15	-0.145590	-0.19744
C4	-0.089020	-0.26151	C16	-0.026539	-0.21684
C5	-0.087818	-0.22213	C17	0.362873	0.44032
C6	-0.127578	-0.26999	C18	-0.169299	-0.35326
C7	0.336869	0.17319	C19	0.323231	0.39330
C8	-0.148452	-0.26502	BR1	-0.106161	0.07877
C9	-0.099274	-0.23788	F1	-0.271385	-0.31625
C10	0.265253	0.10765	O1	-0.568119	-0.68856
C11	-0.111238	-0.20765	N1	-0.608316	-0.51255
C12	-0.121133	-0.27920	N2	-0.702178	-0.60345
H1	0.355930	0.52072	H8	0.082113	0.23621
H2	0.257746	0.42127	H9	0.090221	0.24049
H2A	0.099946	0.24782	H11	0.098439	0.24933
H3	0.089408	0.24200	H12	0.105384	0.25228
H4	0.084780	0.24102	H13	0.096608	0.20057
H5	0.088286	0.24176	H15	0.111803	0.25683
H6	0.078386	0.23443	H18	0.121493	0.27094

### 3.6. Doğal Bağ Yörüngesi Analizi

Doğal Bağ Orbitali ((Natural Bond Orbital) (NBO)) analizi bir dizi lokalize bağ, antikorlar ve Rydberg ekstra değerlik orbitalleri ile atom çiftlerinin yapısındaki etkileşim yüzdeleri anlamamızı sağlar. Dolu ve boş orbitaller arasındaki dengeleyici etkileşimler ve doldurulmuş orbitaller arasındaki kararsızlaştırıcı etkileşimler de bu analizden elde edilebilir (Adant ve arkadaşları, 1995; Uzun ve arkadaşları, 2020).  $E^{(2)}$  (hiper-konjugatif etkileşim enerjisi) değeri ne kadar büyük olursa, elektron donör-akseptör arasındaki etkileşim o kadar yoğun olur. Yani elektron donörlerinden akseptörlere daha fazla elektron verme eğilimi ve tüm sistemin konjugasyonunun kapsamı o kadar fazladır. “Dolu” (donör) Lewis tipi NBO'lar ile “boş” (akseptör) Lewis olmayan NBO'lar arasındaki önemli görülen etkileşimler başlık bileşiği için Tablo 4 de verilmiştir. NBO sonucunda başlıktaki bileşiğin toplam Lewis yapısı %97.467 (çekirdek %99.970, değerlik Lewis %95.923) ve toplam Lewis olmayan yapısı %4.914 olan bir moleküler yapı türüdür (Rydberg Lewis olmayan %0.150, değerlik olmayan Lewis %2.383).

$\pi$  elektronları dekolorizasyonları sırasıyla  $\pi(N1-C13) \rightarrow \pi^*(C10-C11)$ ,  $\pi(C1-C6) \rightarrow \pi^*(C4-C5)$ ,  $\pi(C7-C12) \rightarrow \pi^*(C10-C11)$ ,  $\pi(C8-C9) \rightarrow \pi^*(C7-C12)$ ,  $\pi(C10-C11) \rightarrow \pi^*(N1-C13)$ ,  $\pi(C14-C15) \rightarrow \pi^*(C18-C19)$ , ve  $\pi(C16-C17) \rightarrow \pi^*(C14-C15)$  için 10.92, 22.32, 23.55, 19.48, 13.62, 22.94, ve 24.60 kcal/mol stabilizasyon enerjilerine sahiptir.

**Tablo 4.** NBO analiz değerleri

Donör(i) (doluluk)	Tip	ED <sub>A</sub> , % ED <sub>B</sub> , %	Akseptör(j) (doluluk)	Tip	ED <sub>A</sub> , % ED <sub>B</sub> , %	E <sup>(2)a</sup> (kcal/mol)	E <sub>j</sub> -E <sub>i</sub> <sup>b</sup> (a.u.)	F(ij) <sup>c</sup> (a.u.)
BD Br1-C16 (1.98385)	$\sigma$	49.93 50.07	BD*F1-C17 (0.02847)	$\sigma^*$	27.62 72.38	0.92	0.92	0.026
BD F1-C17 (1.99549)	$\sigma$	72.38 27.62	BD*C15-C16 (0.02155)	$\sigma^*$	50.48 49.52	1.34	1.60	0.042
BD O3-H1 (1.98442)	$\sigma$	79.52 20.48	BD*N1-C10 (0.02797)	$\sigma^*$	39.89 60.11	0.67	1.19	0.025
BD N1-C10 (1.98339)	$\sigma$	60.11 39.89	BD*C13-C14 (0.02557)	$\sigma^*$	51.57 48.43	3.06	1.28	0.056
BD C1-C2 (1.97352)	$\sigma$	51.09 48.91	BD*N2-C1 (0.02652)	$\sigma^*$	38.67 61.33	1.34	1.14	0.035
BD N1-C13 (1.91139)	$\pi$	61.07 38.93	BD*C10-C11 (0.40221)	$\pi^*$	47.38 52.62	10.92	0.37	0.062
BD C1-C6 (1.64537)	$\pi$	47.90 52.10	BD C4-C5 (0.35109)	$\pi^*$	48.39 51.61	22.32	0.29	0.072
BD C7-C12 (1.62303)	$\pi$	47.34 52.66	BD*C10-C11 (0.40221)	$\pi^*$	47.38 52.62	23.55	0.28	0.073
BD C8-C9 (1.72863)	$\pi$	51.72 48.28	BD*C7-C12 (0.41500)	$\pi^*$	52.66 47.34	19.48	0.28	0.069
BD C10-C11 (1.62473)	$\pi$	52.62 47.38	BD*N1-C13 (0.22586)	$\pi^*$	38.93 61.07	13.62	0.25	0.055
BD*C14-C15 (1.65304)	$\pi$	55.69 44.31	BD*C18-C19 (0.39026)	$\pi^*$	43.01 56.99	22.94	0.28	0.072
BD N1-C13 (0.22586)	$\pi^*$	38.93 61.07	BD*C14-C15 (0.42893)	$\pi^*$	44.31 55.69	189.78	0.01	0.069
BD C16-C17 (0.47610)	$\pi^*$	42.32 57.68	BD*C18-C19 (0.39026)	$\pi^*$	43.01 56.99	172.81	0.02	0.084
BD*C16-C17 (1.64990)	$\pi$	57.68 42.32	BD*C14-C15 (0.42893)	$\pi^*$	44.31 55.69	24.60	0.30	0.078
LP F1	n	-	BD*C16-C17	$\pi^*$	42.32	22.54	0.41	0.095



(1.98854)			(0.47610)		57.68			
LP O1 (1.96332)	$\pi$	-	BD*C18-C19 (0.39026)	$\pi^*$	43.01	40.35	0.32	0.107
CR C18 (1.99881)	$\sigma$	-	BD*O1-C19 (0.01780)	$\sigma^*$	34.03	0.65	10.45	0.074
					65.97			

### 3.7. IR Çalışmaları

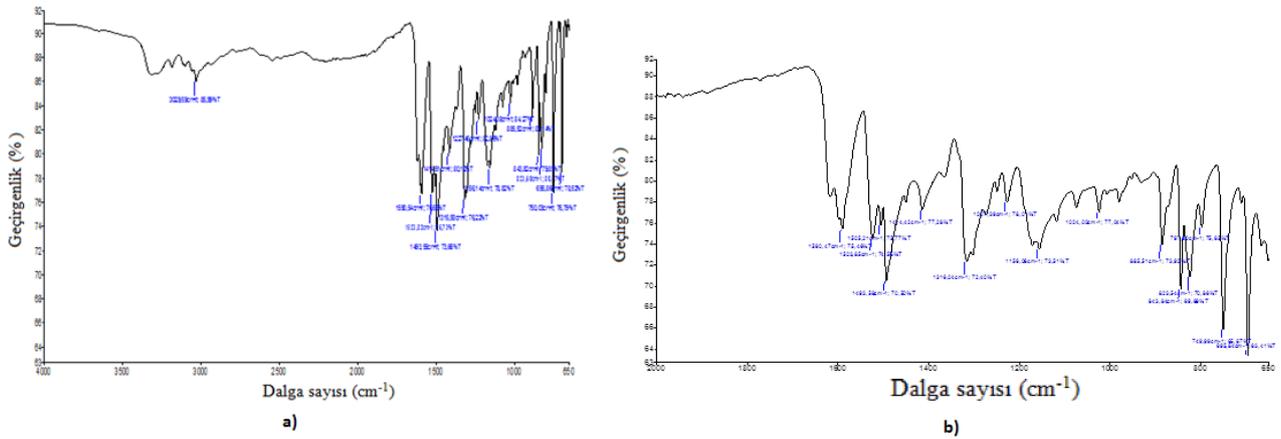
IR çalışmaları moleküler yapıların titreşim frekansları hakkında bilgiler vererek yapının anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. IR spektrumu için bazı deneysel ve teorik pik değerlerinin karşılaştırılması Tablo 5 de yer almaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda moleküler yapıda aromatik halkalara ait deneysel C-H gerilme titreşimi 3029  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenirken, teorik C-H gerilme titreşimi 3201-3204  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. Simetrik C-H gerilme titreşimi teorik olarak 3209-3219  $\text{cm}^{-1}$ 'de ve asimetrik C-H gerilme titreşimi teorik olarak 3172-3184-3199  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. Elde edilen teorik veriler için O-H gerilme titreşimi 3094  $\text{cm}^{-1}$ 'de, deneysel O-H gerilme titreşimi 3250 ile 3350  $\text{cm}^{-1}$  aralığında gözlenmiştir. Teorik O-H salınma frekansı 1620-1623  $\text{cm}^{-1}$ 'de, deneysel O-H salınma frekansı 1610  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. Bileşikteki N-H gerilme piki teorik olarak 3633  $\text{cm}^{-1}$ 'de, deneysel N-H gerilme piki 3200  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. N-H salınma frekansı deneysel olarak 1590  $\text{cm}^{-1}$ 'de, teorik N-H salınma frekansı ise 1564-1643  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. C=N çift bağ gerilme titreşimi deneysel olarak 1523  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenirken, teorik C=N çift bağ gerilme titreşimi 1499  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. Yapıda bulunan C=C çift bağ gerilme titreşimi deneysel olarak 1590  $\text{cm}^{-1}$ 'de, teorik C=C çift bağ gerilme titreşimi 1564-1643  $\text{cm}^{-1}$  gözlenmiştir. İncelenen molekülün IR spektrumunda O-H tek bağ ve C=N çift bağ titreşimin gözlenmesi kimyasal olarak yapının enol-imin formuna sahip olduğunu işaret etmektedir. Elde edilen bu deneysel sonuçlar yapının litaretürle uyumlu sonuç verdiğini göstermektedir (Ramalingam ve arkadaşları, 2011; Varsanyi, 1966).

**Tablo 5.** IR spektrumundan elde edilen bazı teorik ve deneysel verilerin karşılaştırılması.

İşaretleme	Deneysel $\text{cm}^{-1}$	YFK/6-31G(d,p) $\text{cm}^{-1}$
$\nu$ O-H	3250-3350 aralığında	3094
$\nu$ N-H	3200	3633
$\nu_s$ C-H	-	3209-3219
$\nu$ C-H	3029	3201-3204
$\nu_{as}$ C-H	-	3172-3184-3199
$\gamma$ O-H	1610	1620-1623
$\nu$ C=C	1590	1564
$\nu$ C=N	1523	1499
$\gamma$ N-H	1590	1564-1643
$\nu$ C-F	1080-1400	1041-1456
$\nu$ C-Br	695	686
$\nu$ C-O	1227	1197

$\nu$ ; gerilme,  $\alpha$ ; makaslama,  $\gamma$ ; salınma, s; simetrik, as; asimetrik

IR spektrumunda elde edilen diğer pik değerleri ise; aromatik halkaya bağlı olan C-O için deneysel olarak  $1227\text{ cm}^{-1}$  de gözlenirken teorik olarak  $1197\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. Bu durum C-F gerilme titreşimi için deneysel  $1080\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ 'de teorik olarak  $1041\text{--}1456\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. C-Br gerilme titreşimi deneysel olarak  $695\text{ cm}^{-1}$ 'de, teorik olarak  $686\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. Şekil 7a da IR spekturumunun tam hali gösterilmektedir. Şekil 7b de ise  $650\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$  aralığında genişletilmiş IR spektrumu gösterilmektedir. Deneysel ve teorik spektrumlardaki kaymanın nedeni; deneysel ölçümlerin katı fazda, teorik hesaplamaların ise gaz fazında olmasıdır. Ek olarak, deneysel titreşim frekansı cihaz ölçümleri anharmonik, teorik titreşim frekans hesaplamalarının harmonik olması bu kaymalara sebebiyet vermektedir.



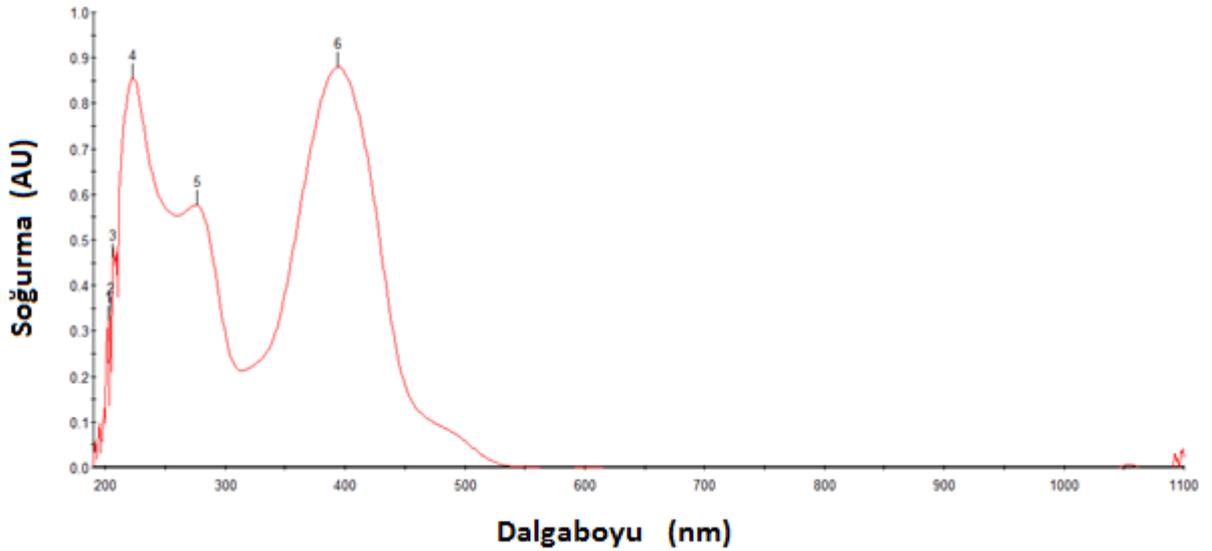
**Şekil 7.** Başlıkta bileşiğin deneysel **a)** genel IR spektrumu, **b)**  $650\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$  aralığında genişletilmiş IR spektrumu

### 3.8. Uv-Vis Çalışmaları

Başlıktaki bileşik için Uv-Vis spektrumu incelendiğinde, yapının enol-imin formunda meydana geldiği belirlenmiştir. Yapıya ait elektronik geçişler 201, 204, 206, 223, 275 ve 394 nm olarak gözlenmiştir. Bu geçişler, kızılötesi (IR) spektrumunda da belirtildiği üzere yapının enol-imin formunda oluştuğunu göstermektedir. Çalışılan yapıda  $400\text{ nm}$ 'nin üzerinde pik gözlenmediği için Schiff bazların 3 taotomer yapısından sadece enol-imin formu gözlenmiştir. Bundan dolayı Schiff taotomer yapılarından başka bir forma sahip özellikler gözlenmemiştir (Güzel ve arkadaşları, 2020). Başlıktaki bileşik için en yüksek pik değeri UV-Vis spektrumu için  $394\text{ nm}$  dalga boyunda gözlenmiştir. Deneysel veriler Şekil 8 de yer almaktadır.

Başlıktaki bileşiğin UV spektrumu incelendiğinde 201, 204 ve 206 nm değerlerinde gözlenen üç adet mor ötesi soğurma olduğu gözlenmiştir. Benzen grubuna diğer grupların dahil edilmesinin

bir sonucu olarak batokromik kayma gözlenmiştir. Schiff bazı olarak meydana gelen bileşik sisteminde yer alan elektronik geçiş ve Schiff bazları ile fenil grupları arasındaki konjugasyonun bir sonucu olarak, elektronik geçiş  $\pi \rightarrow \pi^*$  geçişine karşılık gelir (Ocak ve arkadaşları, 2003). Diğer bir deyişle, 201–206 nm aralığındaki bantlardan gelen pik değerleri,  $-C=C-$  aromatik halkalarından dolayı  $\pi \rightarrow \pi^*$  elektronik geçişlerinden kaynaklanmıştır. 223 nm'de gözlenen pik azometin grup ( $-CH=N-$ ) olan aromatik halkalardan dolayı  $\pi \rightarrow \pi^*$  elektronik geçişlerini ifade eder. Bu pik değerleri benzende yer alan delokalizasyondan kaynaklı meydana gelen  $\pi \rightarrow \pi^*$  geçişine ifade etmektedir. 275 nm'de gözlenen pik değeri yapıda içerisindeki  $-C-N-$  gruplarından gelen  $n \rightarrow \pi^*$  geçişlerine ve 394 nm'de gözlenen pik ise yapıdaki  $C-N-C$  gruplarından gelen  $n \rightarrow \sigma^*$  geçişlerinden kaynaklanmaktadır (Mesbah ve arkadaşları, 2018).



Şekil 8. Bileşiğin deneysel UV-Vis spektrumu.

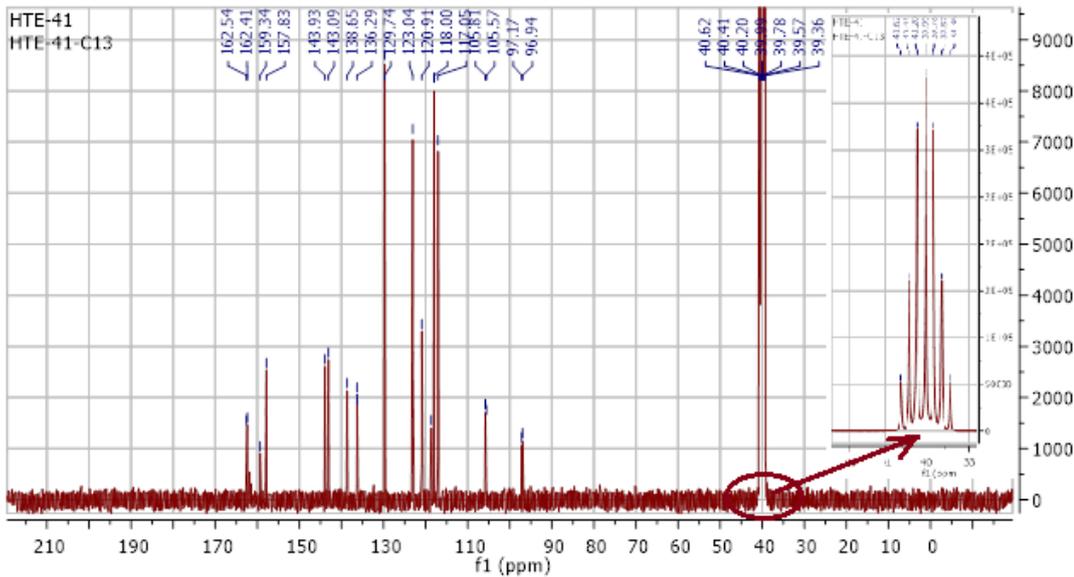
### 3.9. $^{13}C$ -NMR Çalışmaları

Moleküler yapının optimize yapı sonuçlarına bakıldığında görülen üç benzen halkasının varlığı  $^{13}C$ -NMR spekturumundan da 120 ppm civarında olan atomların benzen halkasına ait olduğu düşünülmektedir.  $^{13}C$ -NMR spekturumu Şekil 9 da verilmiştir. Tablo 6 daki deneysel veriler ile teorik veriler molekül içi küçük etkileşimlerden dolayı bir miktar farklılık içermekte olup deneysel ve teorik hesaplamalar uyumludur (Güzel ve arkadaşları, 2021). Şekil 9 da spekturumun en sağında gözlenen yedili pik 1:3:6:7:6:3:1 bağıl şiddetlerinde olup  $d_6$ -DMSO çözücüsüne aittir. Aromatik halkalarda karbon pikleri  $\delta$  120- 170 ppm aralığında değer alır (Kılıç Cıkla ve arkadaşları, 2016). Ancak bahsi geçen bu aralık kesinliği ifade etmez. Çünkü bu aralık moleküler gruplara, ortama ve kullanılan çözücüye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

**Tablo 6.**  $^{13}\text{C}$ -NMR piklerinin teorik ve deneysel değerleri.

Atom	Deneysel (ppm)	Teorik (ppm)	Atom	Deneysel (ppm)	Teorik (ppm)
C1	105.81	106.3	C11	138.65	140.9
C2	159.34	161.7	C12	120.91	122.4
C3	117.04	116.3	C13	123.04	123.2
C4	136.29	135.7	C14	143.93	142.4
C5	97.16	102.8	C15	118.00	120.6
C6	162.53	169.1	C16	129.74	129.6
C7	157.83	160.0	C17	118.69	121.9
C8	143.09	141.5	C18	129.74	129.6
C9	123.04	123.2	C19	118.00	120.6
C10	120.91	122.4			

C6 karbonun en yüksek elektronegatif değere sahip F1 atomuna bağlı olması, spektrumda en yüksek kaymanın gerçekleşmesine neden olmuştur. İncelenen bileşikte C9-C13, C10-C12 ve C15-C19, C17-C18 atom çiftleri benzen halkası içinde özdeş özellikler gösterdiğinden hemen hemen olması gerekenden 2 katı fazla değer göstermişlerdir (Çoruh ve arkadaşları, 2003). Başlıktaki bileşiğin optimize yapısına bakıldığında F1 atomunun bağlı bulunduğu aromatik benzen halkası, molekül içerisindeki diğer benzen halkalarına bağlı özdeş simetrik atom bağları bulundurmadığından (homojen olmadığından) karbon pikleri farklı frekans değerlerinde rezonans durumunu gerçekleştirmişlerdir.

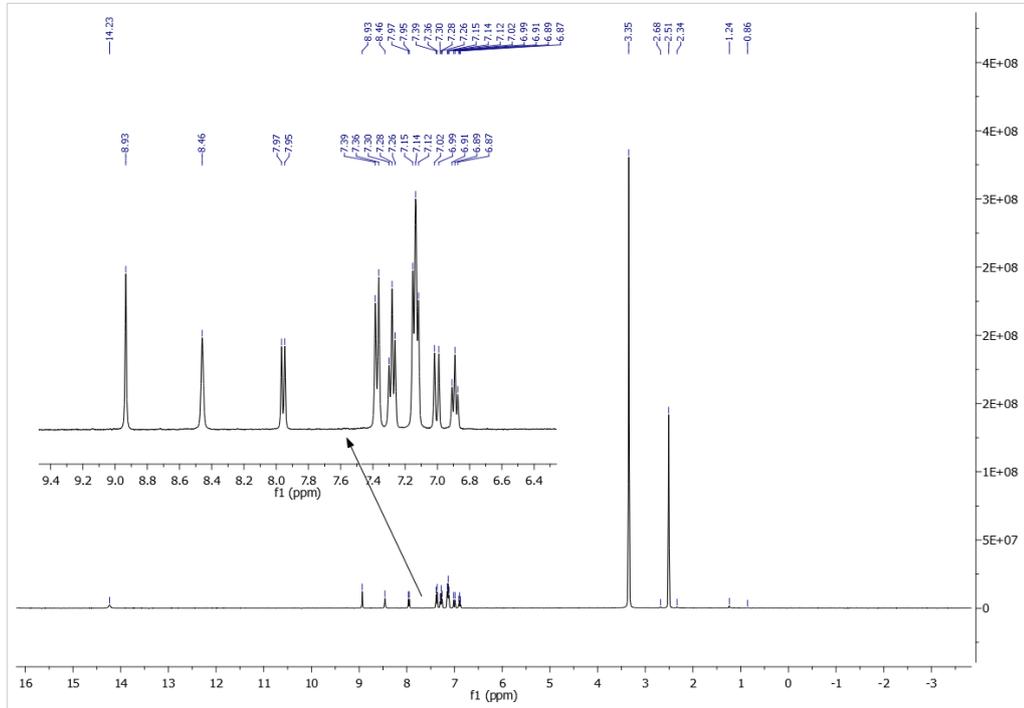
**Şekil 9.** Moleküler yapının  $^{13}\text{C}$ -NMR spektrumu.

$\delta$  162.41 ppm,  $\delta$  105.57 ppm ve  $\delta$  96.94 ppm'deki pik değerlerinin çalışılan örnekteki safsızlıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.10. $^1\text{H-NMR}$ Çalışmaları

Moleküler yapının  $^1\text{H-NMR}$  grafiğine bakıldığında toplam 14 adet hidrojen olduğu görülmektedir. Benzen halkasına bağlı elektronu çekme veya itme özelliği gösteren substitüye grupların etkisinin bir sonucu olarak protonların kimyasal kayma değerleri  $\delta$  7.34 ppm de gözlenmesi gerekirken, manyetik alanlardaki değişimlerden etkilenecek farklı kimyasal kayma değerlerinde gözlenirler. Deneysel olarak elde edilen veriler sonucunda kimyasal kayma değerleri,  $\delta$  1.24 ppm,  $\delta$  0.86 ppm deki zayıf şiddetteki ve  $\delta$  3.35 ppm deki şiddetli piklerin yapı içerisindeki safsızlıklardan meydana gelen pikler olduğu söylenebilir.  $\delta$  2.51 ppm de gözlenen şiddetli pik ve bu pikin sağında ve solundaki eşit şiddet değerindeki iki pik, çözücüye ait  $d_6$ -DMSO piklerinin olduğunu göstermektedir (Kurnaz ve arkadaşları, 2016). Büyük değere sahip olan pik  $d_6$ -DMSO çözücünde bulunan özdeş 6 protondan kaynaklanmaktadır.

Kimyasal kayma değeri  $\delta$  14.23 ppm ölçülen pikin O1'e bağlı hidrojen piki olduğu düşünülmektedir. C7 atomuna bağlı hidrojenin kimyasal kayma değeri  $\delta$  8.93 ppm olarak düşünülmektedir. Aromatik halkaya ait hidrojenlerin kimyasal kayma değerleri genelde  $\delta$  6.0-8.5 ppm aralığında gözlenmesi beklenir (Kurnaz ve arkadaşları, 2016). Başlıktaki bileşiğe ait aromatik halka kimyasal kayma değerlerinin  $\delta$  6.87-7.97 ppm aralığında olduğu belirlenmiştir. Başlıktaki bileşiğinin  $^1\text{H-NMR}$  spektrumu Şekil 10 da verilmiştir.



Şekil 10. Moleküler yapının  $^1\text{H-NMR}$  spektrumu.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

(E)-4-bromo-5-floro-2-((4-(fenilamino)fenil)imino)metil bileşiğine ait tüm teorik hesaplamalar YFK/B3LYP/6-31G(d,p) kullanılarak elde edilmiştir. Çalışılan bileşiğin hesaplamaları ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum gözlenmiştir. İncelenen molekül için en yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) ve en düşük boş moleküler orbital (LUMO) arasındaki  $\Delta E=5.698$  eV'luk enerji farkı, 2.849 eV sertlik ve  $0.175$  (eV)<sup>-1</sup> düşük yumuşaklık değerleri ile düşük kimyasal aktivite sergileyerek yapının oldukça kararlı olduğu belirlenmiştir. MEP haritası üzerinde gözlenen mavi ve kırmızı bölgelerin varlığı, MEP kontür yüzeyi üzerinde bulunan yük yoğunluk çizgileri, MPA ve NPA hesaplamaları sonucunda elde edilen atomların pozitif ve negatif yük değerleri ile optimize yapının elektrofilik doğasının daha baskın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, oksijen atomları üzerinde yerleşen bu bölgelerin hidrojen bağlanmasında etkin olduğu belirlenmiştir. NBO analizi yapılarak, donör atom çiftlerinin yapısındaki etkileşim yüzdeleri, akseptör atom çiftlerinin yapısındaki etkileşim yüzdeleri ve donör-akseptör arasındaki enerji geçişleri hesaplanmıştır. BD N1-C13 (0.22589)  $\pi^*$  (N1=% 38.93, C13= % 61.07)→BD\* C14-C15 (0.42893)  $\pi^*$  (C14=% 44.31, C15= %55.69) 189.64 kcal/mol stabilizasyon enerjisi ile  $\pi^* \rightarrow \pi^*$  geçişini ifade etmektedir. Burada enerji geçiş değerinin büyük olması, elektron donörlerinden akseptörlere elektron verme eğiliminin yüksek olduğunu göstermektedir. Başlıktaki bileşik için yapılan Hirshfeld çalışmaları sonucunda moleküler yapının olası bağlanma noktaları görselleştirilmiştir. Bu görsel belirleme sonucunda yapının elektronca zengin ve elektronca fakir bölgeleri belirlenmiştir. Buna göre çalışılan bileşiğin başka bir ligand ile bir sonraki etkileşimde yeni bağ yapma noktası N1 atomu olarak belirlenmiştir. Ayrıca 2-boyutlu parmak izi bölgesi hesaplanarak atomların moleküler yapı içerisindeki etkileşim yüzdeleri hesaplanmıştır. Buna göre, H...H/H...H (%33.6) arasındaki etkileşim en büyük değere sahiptir. Bunlara ek olarak, X-ışınlarından elde edilen kristal yapı IR, Uv-Vis ve NMR sonuçları ile uyumludur.

#### Bilgilendirme

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Proje Ofisi tarafından PYO.FEN.1904.17.006[D16] numaralı proje ile desteklenmiştir.

#### Yazarların Katkıları

EA ve OED tarafından, IR ve Uv-Vis çalışmaları gerçekleştirilmiş, analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. SK, MY ve EG tarafından deneysel olarak <sup>13</sup>C-NMR ve <sup>1</sup>H-NMR çalışmaları,

kuramsal hesaplamalarda ise Hirschfeld yüzey alanı, 2-boyutlu parmak izi bölgesi, moleküler elektostatik potansiyel kontur alanı, doğal bağ orbitalleri, doğal popülasyon analizi, mulliken popülasyon analizi, kimyasal aktivite parametreleri ve HOMO- LUMO görünümleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

Yazarlar makalenin son halini okudu ve onayladı.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Kalecik, S., Yavuz, M., Kavraz, F., Eserci, H., Açar, E., (2017). (E)-2-[(4-Anilinophenyl)imino]methyl-4-bromo-5-fluorophenol, *IUCrData*, 2-12.
- Kalecik, S., (2018).  $C_{19}H_{14}BrFN_2O$ ,  $C_{13}H_{11}BrFNO_2$  ve  $C_{21}H_{14}BrFN_2O_2$  Moleküllerinin X-ışınları ve Bazı Spektroskopik Yöntemlerle Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Çoruh, U., Ustabas, R., Yılmaz, I., Yavuz, M., (2003). 4,5-Dicyano-1,2-bis (2- dimethylaminoethylsulfanyl) benzene, *Acta Crystallographica Section E*, E59, o1938-o1940.
- Salamci, E., Ustabas, R., Çoruh, U., Yavuz, M., Vázquez-López, E. M., (2006). Cyclooctane-1,2,5,6-tetrayl tetraacetate, *Acta Crystallographica Section E*, E62, o2401-o2402.
- Hadjoudis, E., Mavridis, I. M., (2004). Photochromism and thermochromism of Schiff bases in the solid state: structural aspects, *Chemical Society Reviews*, 33, 579–588.
- Stoe & Cie X\*area Version 1.18 and X-red32 Version 1.04, (2002). Stoe & Cie, Damstadt, Germany.
- Sheldrick, G.M., (1997). SHELXS97, *Program for Crystal Structures Solution*, University of Göttingen, Germany.
- Sheldrick, G.M., (1997). SHELXL97, *Program for Crystal Structure Refinement*, University of Göttingen, Germany.
- Farrugia, L.J., (2012). WinGX and ORTEP for Windows: An Update, *Journal of Applied Crystallography*, 45, 849-854.
- Frisch, M.J., et al. (2009). *Gaussian 09, Revision A.02*, Gaussian, Inc., Wallingford.
- Parr, R.G., and Yang, W., (1984). Density functional approach to the frontier-electron theory of chemical reactivity, *Journal of the American Chemical Society*, 106, 14, 4049-4050.
- Lee, C., Yang, W., Parr, R.G., (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Physical Review B*, 37, 785-789.
- Wolff, S.K., Grimwood, D.J., McKinnon, J.J., Jayatilaka, D., Spackman, M.A., (2012). *CrystalExplorer 3.1*, University of Western Australia, Perth, Australia.
- Merrick, J.P., Radom, D., Radom, L., (2007). An Evaluation of Harmonic Vibrational Frequency Scale Factors, *Journal of Physical Chemistry A* 111,45, 11683-11700.
- Ustabas, R., Salamci, E., Çoruh, U., Vázquez-López, E. M., Yavuz M., (2006 ).(1RS,2SR,6SR,7SR)-4,10-Dioxatricyclo[5.2.1.02,6]dec-8-en-3-one, *Acta Crystallography Section E*, E62, o4209-o4210.

- Ustabas, R., Çoruh, U., Menzek, A., Altundas, A., Yavuz, M., Hökelek T., (2005). (1SR,2SR,3SR,10SR,12RS,13RS,14RS,17SR)-13-Hydroxy-11-oxapentacyclo [8.7.0.0<sup>2,14</sup>.0<sup>4,9</sup>.0<sup>12,17</sup>] heptadeca-4,6,8-trien-3-yl 4-chlorobenzoate, *Acta Crystallography Section E*, E61, o3859-3861.
- Ustabas, R., Sancak, K., Er, M., Ünver, Y., Çoruh, U., Vázquez-López, E. M., Yavuz, M., (2005). Ethene-1,1,2,2-tetrayltetramethylene tetrathiocyanate, *Acta Crystallography Section E*, E61, o3529-o3531.
- Demircioğlu, Z., Ersanli, C. C., Kaya, Kantar, G., Şaşmaz, S., (2019). Spectroscopic, Hirshfeld surface, X-ray diffraction methodologies and local & global chemical activity calculations of 5-(2-methoxy-4-(prop-1-en-1-yl)phenoxy)pyrazine-2,3-dicarbonitrile, *Journal of Molecular Structure*, pp. 25-37.
- Güzel, E., Demircioğlu, E., Çiçek, C., Açar, E., (2020). Experimental and theoretical approach: Local and global chemical activity, charge transfer method with DNA bases, spectroscopic, structural and electronic properties of (E)-2-(((4-fluorophenyl)imino)methyl)-4-methoxyphenol, *Journal of Molecular Structure*, 1204.
- Ersanli, C. C., Kaya, Kantar, G., Demircioğlu, Z., Şaşmaz, S., (2018). 4-(2-Methoxy-4-(prop-1-enyl)phenoxy)phthalonitrile; synthesis, characterization, Hirshfeld surface analysis and chemical activity studies, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, volume 667.
- Seth, S.K., (2018). Structural characterization and Hirshfeld surface analysis of a Co<sup>II</sup> complex with imidazo[1,2-a]pyridine, *Acta Crystallography Section E*, E74, 600-606.
- Güzel, E., Demircioğlu, Z., Çiçek, C., Açar, E., Yavuz, M., (2021). Experimental (XRD, FTIR, UV-Vis, NMR) and theoretical investigations (Chemical activity descriptors, NBO, DNA/ECT) of (E)-2-((2-hydroxy-5-methoxybenzylidene)amino)-4-nitrophenol, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 724.
- Ersanli, C. C., Kaya, Kantar, G., Şaşmaz, S., (2017). Crystallographic, spectroscopic (FTIR and NMR) and quantum computational calculation studies on bis(2-methoxy-4-((E)-prop-1-enyl)phenyl)oxalate, *Journal of Molecular Structure*, 318-327.
- Mulliken, R.S., (1955). Electronic population analysis on LCAO-MO molecular wave functions, *The Journal of Chemical Physics*, 23(10), 1833-1840.
- Bahgat, K., Fraihat, S., (2015). Normal coordinate analysis, molecular structure, vibrational, electronic spectra and NMR investigation of 4-amino-3-phenyl-1H-1,2,4-triazole-5(4H)-thione by ab initio HF and DFT method, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 135: 1145-1155.
- Öztürk, S., Işık, S., Fun, H. K., Kendi, E., Agar, E., Sasmaz, S., Ibrahim, A.R., (1999). 4-(Phenothiazin-10-yl) benzene-1,2-dicarbonitrile, *Acta Crystallographica Section C*, C55, 395-397.
- Uzun, S., Demircioğlu, Z., Taşdoğan, M., Açar, E., (2020). Quantum chemical and X-ray diffraction studies of (E)-3-(((3,4-dimethoxybenzyl)imino)methyl)benzene-1,2-diol, *Journal of Molecular Structure*, 1206, 127749.
- Adant, M., Dupuis, M., Bredas, J.L., (1995). Ab initio study of the nonlinear optical properties of urea: Electron correlation and dispersion effects, *International Journal of Quantum Chemistry*, 56, 497-507.
- Varsanyi, G., (1969). *Vibrational Spectra of Benzene Derivatives*, Academic Press, New York.
- Ramalingam, M., Sethuraman, V., Sundaraganesan, N., (2011). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 78, 660-669.
- Ocak, N., Çoruh, U., Kahveci, B., Sasmaz, S., Agar, E., Vázquez-López, E.M., Erdönmez A., (2003). 1-acetyl-3-(p-chlorobenzyl)-4-(p-chlorobenzylideneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one *Acta Crystallographica Section e-Structure Reports Online* 59, o750-o752.
- Mesbah, M., Douadi, T., Sahli, F., Issaadi, S., Boukazoula, S., Chafaa, S., (2018). Synthesis, characterization, spectroscopic studies and antimicrobial activity of three new Schiff bases derived from Heterocyclic moiety, *Journal of Molecular Structure*, 1151, 41-48.
- Kılıç, Cıkla, I., Güveli, Ş., Yavuz, M., Bal, Demirci, T., Ülküseven, B., (2016). 5-Methyl-2-hydroxyacetophenone-thiosemicarbazone and its nickel(II) complex: Crystallographic, spectroscopic (IR, NMR and UV) and DFT studies, *Polyhedron*, 105, 104-114.
- Kurnaz, P., Yüksektepe Ataol, Ç., Bati, H., Büyükgüngör, O., (2016). XRD, FTIR, <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR and UV spectroscopic and computational studies of [3-(hydroxyimino)butam-2-ylidene]furan-2'-carbohydrazide, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 634, 61-72.



## Çok Amaçlı Genetik Algoritma Yöntemi Kullanılarak Enine Laminasyonlu Senkron Relüktans Motor Optimizasyonu

Hasan ÇAMCI<sup>1\*</sup>, Onur Özdal MENGE<sup>2</sup>, Serdal ARSLAN<sup>3</sup>

### Öz

Senkron relüktans motor (SynRM), asenkron motor ile aynı gövde yapısına sahip olmasına rağmen rotor yapıları farklıdır. Rotorunda sargı, bakır veya alüminyum çubuklar bulundurmadığından rotor kayıpları azalmakta ve verimleri artmaktadır. Ancak SynRM'nin tork dalgalanması önemli bir problemdir ve motor performansını düşürmeden tork dalgalanmasının azaltılması elzemdir. Bu amaç doğrultusunda çalışmada, 4 KW gücündeki senkron relüktans motor dikkate alınmıştır. Motora ait tüm elektriksel ve mekaniksel veriler Ansys Maxwell programında tanımlanarak motorun analizi gerçekleştirilmiştir. Çok amaçlı genetik algoritma (MOGA) yöntemi kullanılarak motor performansı artışı için tanımlanan amaç fonksiyonları doğrultusunda optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Rotor boyutlandırma parametreleri giriş değişkenleri, çıkış büyüklükleri ise çıkış gücü, verim, tork, tork dalgalanması, çıkıntı oranı olarak tanımlanmıştır. Bariyer sayısı sırasıyla 3, 4 ve 5 için beş amaç fonksiyonu MOGA ile sınanmıştır. Ele alınan amaç fonksiyonlarından elde edilen sonuçlar referans motor verileri ile karşılaştırılmıştır. Amaç fonksiyonu 1'in dışında diğer amaç fonksiyonları referans motorun verim, çıkış gücü, tork dalgalanması bakımından karşılayamamaktadır. 4 bariyerli amaç fonksiyonu 1'den elde edilen verimde değişim gözlenmezken çıkış gücünde % 0,31 artış, tork dalgalanmasında %31,71 azalma görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Senkron Relüktans Motor, Çok amaçlı genetik algoritma, Ansys Maxwell, Optimizasyon.

## Optimization of Transverse-Laminated Synchronous Reluctance Motor by Using Multi-Purpose Genetic Algorithm Method

### Abstract

Although the synchronous reluctance motor (SynRM) has the same body structure as the induction motor, the rotor structures are different. Since the rotor does not contain any copper or aluminum rods in the winding, rotor losses are reduced and efficiency is increased. However, SynRM's torque ripple is a major problem and reducing torque ripple without degrading engine performance is essential. For this purpose, 4 kW synchronous reluctance motor was considered in the study. All electrical and mechanical data of the motor were defined in the Ansys Maxwell program and the analysis of the motor was carried out. Optimization studies were carried out using the multi-objective genetic algorithm (MOGA) method in line with the defined objective functions to increase the engine performance. Rotor sizing parameters are defined as input variables and output sizes as output power, efficiency, torque, torque ripple, saliency ratio. Five objective functions were tested with MOGA for barrier numbers 3, 4 and 5, respectively. The results obtained from the considered objective functions were compared with the reference motor data. Except for objective function 1, other objective functions cannot meet the reference motor in terms of efficiency, output power, torque fluctuation. While no change was observed in the efficiency obtained from the 4-barrier objective function 1, an increase of 0.31% in output power and a decrease of 31.71% in torque fluctuation were observed.

**Keywords:** Synchronous Reluctance Motor, Multi-objective Genetic Algorithm, Ansys Maxwell, Optimization.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Tirebolu Mehmet Bayrak MYO Elektrik ve Enerji Bölümü, Giresun, Türkiye, hasan.camci@giresun.edu.tr

<sup>2</sup>Giresun Üniversite, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Giresun, Türkiye, onur.ozdal.mengi@giresun.edu.tr

<sup>3</sup>Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi MYO Elektrik Programı, Şanlıurfa, Türkiye, serdalarslan@harran.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0193-9509>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5669-0766>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1187-5633>

## 1. Giriş

Elektrik enerjisi tüketim miktarları bakımından elektrik motorları; endüstriyel, ticari ve konut alanlarında en yüksek tüketime sahip elektrikli cihazlar arasında bulunduğu bilinmektedir. Elektrik motorları içinde ise asenkron motorlar oldukça yüksek enerji kayıplarına sahiptir. Yapılan bir araştırmaya göre bu motorların verimlerinde %1'lik bir iyileştirme yapıldığında bile yıllık 20 milyar kWh'lik enerji kazanımı elde edilmesi mümkün olmaktadır (Özçelik, 2016).

Yıllardır kullanılan asenkron motorlar, sağlam mekanik yapısı, düşük maliyeti ve az bakım gerektirmesi gibi nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır (Tarımer ve ark., 2012; Arslan, 2016; Arslan ve ark., 2016). Son yıllarda asenkron motor verimliliğinin artışı üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Tarımer ve ark., 2012; Arslan ve ark., 2016). Fakat rotorda bulunan sargılar, bakır ya da alüminyum çubuklar asenkron motorlarda birçok dezavantaja yol açmaktadır. Özellikle elektriksel kayıplar motor veriminin düşmesine de neden olmaktadır. Ayrıca rotor sıcaklığının yükselmesiyle rulmanlarda arızalar görülebilir. Bu durumun yanı sıra, asenkron motorun rotor çubuklarında mekanik arızalarda görülebilir, bu da motorun güvenilirliğini azaltmaktadır (Heidari ve ark., 2021).

Senkron relüktans motorların rotorunda sargı ya da çubuklar bulunmadığından rotorlarında ısınma olmaz ve soğuk çalışırlar. Bu durum rotor bakır kayıplarının olmayacağı ve verimlerinin yüksek olacağı anlamını taşımaktadır. SynRM'ler asenkron makineler ile aynı stator yapısına sahip olmalarından dolayı aynı üretim bandında üretilmeleri mümkündür. Bu açıdan maliyeti düşüren etkilerden birisidir. Senkron relüktans motorların bazı olumsuzlukları olmakla birlikte rotor tasarımı, manyetik çelik türü, stator sarım konfigürasyonlarında yapılacak iyileştirmelerle daha verimli bir yapının oluşturulması mümkündür (Tawfiq ve ark., 2021).

SynRM'lerin icadından bu yana yüzyıla yakın zaman geçmesine rağmen, kullanılan malzeme açısından önemli değişiklik göstermemektedir. Ayrıca güç elektroniği devrelerinin ortaya çıkmasıyla birlikte SynRM'ler büyük ilgi görmeye başlamıştır. Özellikle son on yılda, piyasanın önde gelen üreticileri yeni tasarladıkları SynRM sistemlerini piyasaya sürmüşlerdir (Heidari ve ark., 2021). Motor asenkron motorun stator yapısına sahip olmasına karşın rotorda kanallar açılmış çıkıntılı yapıya sahiptir. Bu açıdan SynRM'ler, sinüzoidal akım tarafından uyarılan ve hava aralığına sahip geleneksel alternatif akım makineleridir. d ekseni ve q ekseni arasındaki endüktans farkından dolayı elektromanyetik tork üretirler (Zhang, 2021).

SynRM'nin performansını geliştirmek üzere, akı bariyerlerine ilişkin optimal geometrilerin bulunmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Palmier ve ark., Wang ve ark. akı bariyerlerinin ve stator oluklarının sayısının SynRM'nin optimal tasarımındaki etkisini incelemişlerdir. Tork dalgalanmasının en yüksek iki akı bariyeri ile elde edildiği kanıtlanmıştır

(Palmieri ve ark., 2014; Wang ve ark., 2015). Sanada ve ark., SynRM performansının daha da geliştirilmesi için asimetrik bir akı bariyeri (rotor olukları arasındaki açıklığın eşit olmadığı) tasarımı önermiştir. Önerilen tasarımdaki tork dalgalanması, simetrik tasarıma kıyasla yaklaşık %80 oranında azalmıştır. Bununla birlikte, ortalama tork değerinde değişme olmamıştır (Sanada ve ark., 2004). Bacco ve Bianchi, ortalama torku düşürmeden tork dalgalanmasını minimize ederek akı bariyerinin konumunun belirlenebileceği analitik bir yöntem önermişlerdir (Bacco ve Bianchi, 2018). Babetto ve ark., SynRM'lerin yüksek hızlardaki performansının optimizasyonunda kırışlerin kalınlığı, akı bariyerlerinin konumları ve uçları gibi rotor geometrilerini incelemişlerdir (Babetto ve ark., 2018).

Tasarımı analitik modellere dayandıranlar da dahil olmak üzere, literatürdeki çoğu yazar SynRM'lerin tasarımında sonlu elemanlar yönteminin (SEY) kullanımını belirtmektedir (Lovelace ve ark., 2022; Sizov ve ark., 2011). Sonlu elemanlar yöntemi ve çok amaçlı optimizasyon algoritmalarının birlikte kullanıldığı etkin bir optimizasyon için; rotor geometrisinin tanımının olabildiğince basitleştirilmesi, aday çözümlerin SEY değerlendirme süresini en aza indirmesi, zaman ve doğruluk arasında bir denge sağlamak için MOGA'yı ve ayarlarını doğru şekilde seçmek gerekmektedir. Cupertino ve ark. SynRM'lerin rotor geometrisinin otomatik tasarımı için SEY ve MOGA kullanmışlardır. Özellikle popüler olan üç MOGA'nın performansı, nihai tasarımın kalitesi ve hesaplama süresi açısından analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada çok amaçlı genetik algoritma (MOGA), çok amaçlı diferansiyel evrim (MODE) ve çok amaçlı benzetilmiş tavlama (MOSA) SynRM'nin rotorunun optimizasyonuna uygulanmıştır (Cupertino ve ark., 2014).

SynRM'nin performansını düşürmeden tork dalgalanmasının azaltılması elzemdir. Bu durumu ele alan literatürde verilen çalışmalarda yaygın olarak optimizasyon yöntemleri karşılaştırmaları gerçekleştirilmesine rağmen MOGA özelinde ise bir veya iki amaç fonksiyonu üzerinden en uygun şekle sokma gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada diğer çalışmalara benzer olarak SEY ile analiz ve en uygun rotor boyutlandırma parametrelerinin tespiti için çok amaçlı genetik algoritma yöntemi tercih edilmiştir. Ancak diğer çalışmalardan farklı olarak farklı amaç fonksiyonlarının SynRM'nin rotor bariyer sayısının değişimine bağlı olarak en uygun rotor geometrisinin elde edilmesine odaklanılmıştır. Referans motorun temel boyutlandırma ölçüleri hali hazırda imalatı yapılan motordan alınmıştır. Bu motorun stator verileri sabit tutularak motor performans parametrelerini içeren amaç fonksiyonları çok amaçlı genetik algoritma yöntemi ile farklı rotor bariyer sayıları için sınanmıştır. En uygun rotor verileri için elde edilen performans sonuçları referans motor ile karşılaştırılmıştır. Birinci olarak verilen amaç fonksiyonu ile en iyi boyutlandırma verileri elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 SynRM İçin Matematiksel İfadeler

SynRM'lerin performans parametreleri arasında tork, tork dalgalanması, güç faktörü, çıkış gücü, kayıplar ve verim değerleri verilebilir. Makine tasarımı yapılırken tüm bu parametrelerin optimum değerlerini bulmak zor olduğundan dolayı tasarımda bazı parametrelere öncelik verilmektedir. Burada tasarımcının amacı yüksek tork, yüksek verim, yüksek güç ya da düşük tork dalgalanması, düşük kayıp gibi parametreler olabilir. Aynı zamanda SynRM'da performans parametrelerini etkileyen değerlerden ikisi  $L_d$ ,  $L_q$  endüktansları ve çıkıntı oranıdır. Bu iki değer SynRM için önemli performans parametrelerinden biri olan moment değerini de doğrudan etkilediği Denklem (1) ve Denklem (3)'de (Solak, 2021) açıkça gösterilmektedir.

$$T = \frac{3p}{2} (L_d - L_q) i_d i_q \quad (1)$$

$$\xi = \frac{L_d}{L_q} \quad (2)$$

Burada  $T$  tork ( $Nm$ ),  $p$  kutup sayısı,  $L_d$   $d$  eksenli endüktansı ( $H$ ),  $L_q$   $q$  eksenli endüktansı ( $H$ ),  $i_d$  ve  $i_q$  sırasıyla  $d$  ve  $q$  eksenli akımlarını ( $A$ ) ifade etmektedir.

Tork ifadesini Denklem (2)'de (Solak, 2021) verilen çıkıntı oranı ( $\xi$ ) cinsinden yazdığımızda Denklem (3) elde edilmiş olur.

$$T = \frac{3p}{2} L_d \left(1 - \frac{1}{\xi}\right) i_d i_q \quad (3)$$

Aynı zamanda tork ifadesi Denklem (4)'de (Solak, 2021) olduğu gibi  $d$  ve  $q$  eksenli arasındaki akımın faz açısı cinsinden de ifade edilebilir.

$$T = \frac{3p}{2} (L_d - L_q) I_s^2 \sin(2\theta) \quad (4)$$

Burada  $I_s$  stator akımını ( $A$ ),  $\theta$  akım açısını ( $^\circ$ ) simgelemektedir.

Tork ifadesinden sonra motorun düşük hızda döndüğünü varsayarsak ve demir kayıpları ihmal edilerek verim ifadesi Denklem (5)'te (Solak, 2021) verilmiştir.

$$\eta = \left(1 + \frac{P_{loss}}{P_{out}}\right)^{-1} \quad (5)$$

Denklem (6)'da (Solak, 2021) görüldüğü üzere demir kayıpları ihmal edildiğinden dolayı  $P_{loss}$  ifadesi bakır kayıplarına eşit olmaktadır.

$$P_{loss} = P_{Cu} = 3R_s I_s^2 \quad (6)$$

SynRM'nin verimi tüm motorlarda olduğu gibi Denklem (7) ile de tanımlanabilir.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \quad (7)$$

Denklem (7)'de verilen  $P_{out}$  çıkış gücü ( $W$ ) Denklem (8),  $P_{in}$  giriş gücü ( $W$ ) ise Denklem (9)'daki (Özdil ve Uzun, 2021) gibi ifade edilmektedir.

$$P_{out} = \omega T \quad (8)$$

$$P_{in} = 3V_s I_s \cos(\varphi) \quad (9)$$

$$PF = \cos(\varphi) \quad (10)$$

Burada  $\omega$  açısal hız ( $rad/sn$ ) cinsinden rotor hızı,  $V_s$  faz gerilimi ( $V$ ),  $I_s$  faz akımı ( $A$ ),  $PF$  güç faktörü, ( $\varphi$ ) faz gerilimi ile faz akımı arasındaki faz açısını ( $^\circ$ ) ifade etmektedir.

Son olarak SynRM'lerde performansı etkileyen ve azaltılması istenen tork dalgalanması ifadesi temel olarak Denklem (11)'de (Özdil ve Uzun, 2021) olduğu gibi ifade edilebilir.

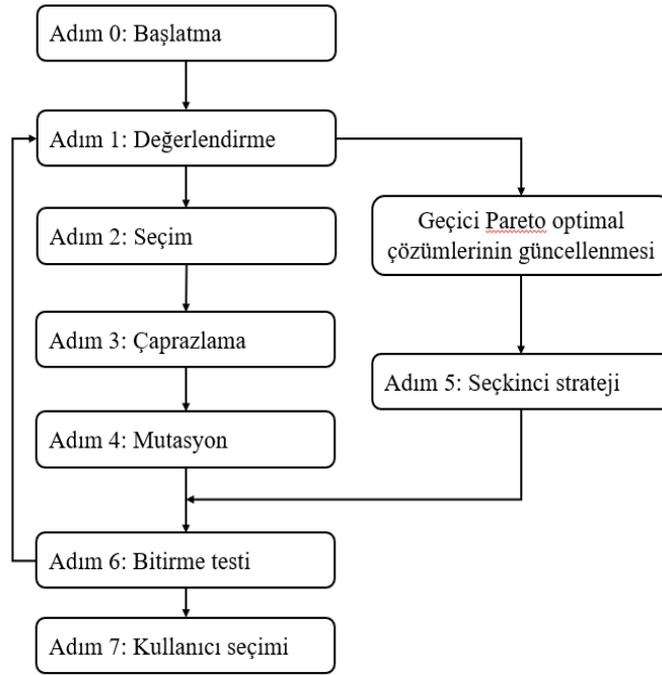
$$T_{rip}(\%) = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{avg}} \quad (11)$$

Burada  $T_{rip}$  dalgalanma oranı,  $T_{max}$  ( $Nm$ ) olarak kalıcı hal durumundaki maksimum tork değeri,  $T_{min}$  ( $Nm$ ) olarak kalıcı hal durumundaki minimum tork değeri,  $T_{avg}$  ( $Nm$ ) olarak kalıcı hal durumundaki ortalama tork değeri olarak verilmiştir.

## 2.2 Motorun Ansys Maxwell ile Modellenmesi ve Optimizasyon Süreci

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde karmaşık elektromanyetik alan problemlerinin çözülmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Günümüzde bu yöntemi kullanan Ansys Maxwell vb. yazılımlar kullanılmaktadır. Çalışmanın tasarım aşaması; hali hazırda ticari olarak üretilen SynRM'nin geometrik büyüklükleri sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir yazılım (Ansys Maxwell) içerisinde tanımlanmış ve 2D nümerik analizi gerçekleştirilmiştir. Burada elde edilen motor verileri analitik olarak hesaplanan değerler olduğundan dolayı önemli bir hata değerine sahiptir (Arslan, 2016). Bu açıdan model tasarımının 2 boyutlu veya 3 boyutlu olarak Ansys Maxwell'de analizinin yapılması gerekir. 3 boyutlu analiz yerine 2 boyutlu analiz hem analiz zamanını kısaltmakta ve kabul edilebilir hata kriterine sahiptir. Sonlu elemanlar yöntemi ile tasarımı gerçekleştirilen motorun belirlenen amaç fonksiyonları altında çok amaçlı genetik algoritma yöntemi kullanılarak çok kriterli optimizasyon tekniği ile çözüm gerçekleştirilir. Kullanılan yazılım içeriğinde optimizasyon modülü altında çok amaçlı genetik algoritma yöntemi mevcuttur.

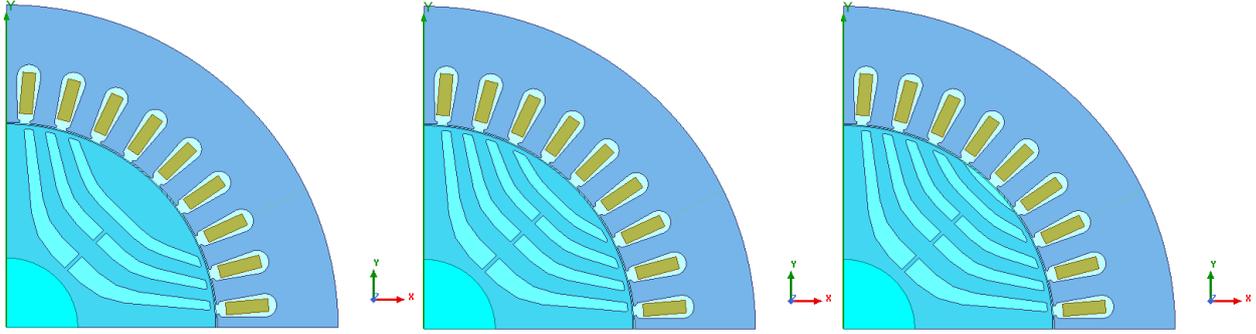
Genetik Algoritma esas olarak doğadaki doğal seçim temeline dayanmaktadır ve tek amaçlı optimizasyon problemlerine uygulanmıştır. Ancak birçok gerçek dünya probleminin birden çok amaç fonksiyonu vardır. Bu amaç fonksiyonları, tek amaçlı bir genetik algoritma tarafından ele alınabilmesi için bir skaler uygunluk fonksiyonunda birleştirilmelidir. Burada çok amaçlı optimizasyon problemlerinin amacı, genellikle birbiriyle çelişen çok amaçlı işlevler arasında olası tüm dengeleri bulmaktır. Bu açıdan SynRM ve diğer elektrik makinalarında performans çözümü için kullanılabilir. Karar verici ile yinelemeli etkileşim olmaksızın çok amaçlı bir performans içeren optimizasyon problemi için tek bir çözüm seçmek zor olduğundan, genel bir yaklaşım karar vericiye Pareto optimal çözümler kümesini göstermektir. Daha sonra tercihe bağlı olarak Pareto optimal çözümlerden biri seçilebilir. Genetik algoritmalar ile tüm Pareto optimal çözümlerini bulmak için, her nesilde bireylerin çeşitliliği korunmalıdır (Murata ve Ishibuchi, 1995). Şekil 1'de çok amaçlı genetik algoritmanın blok şeması verilmiştir.



Şekil 1. Çok Amaçlı Genetik Algoritmanın blok şeması (Murata ve Ishibuchi, 1995).

Elektrik motorunun optimizasyonunda ele alınan genel ölçüler (Aktif çap, Aktif uzunluk, Dış çap/İç Çap vb.) ve diğer genel parametreler (faz sayısı, çalışma frekansı, güç, hız, kutup sayısı, vb.) dikkate alındığında yüksek tork, yüksek verim ve düşük tork dalgalanması istenir. Bu çalışmada, referans motor olarak hali hazırda ticari ürün olarak üretilmekte olan 3 faz, 50 Hz, 4 KW gücünde 1500 rpm devir sayısına sahip senkron relüktans motor ele alınmıştır. Bu motor 165mm/104mm stator dış çap/rotor dış çap oranı ve 135 mm paket boyuna sahiptir. Stator ölçüleri, stator ve rotor için kullanılan materyaller ve hava aralığı ele alınan modeller için eşit alınmıştır. Paket boyu sabit tutularak sadece rotor büyüklüklerinin optimizasyonu ele alınmıştır. Şekil 1'de verilen motorun;

Tablo 1’de verilen veriler doğrultusunda sayısal çözümleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’de verilenler ve tanımlanan beş amaç fonksiyonu bariyer sayısı dikkate alınarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda en uygun büyüklükler elde edilmiştir. Daha sonra referans motorun stator büyüklükleri aynı kalmak şartıyla hesaplanan optimum boyutlandırma sonuçları referans makine ile karşılaştırılarak geometrideki değişim, tork, tork dalgalanması ve verimde ne kadarlık değişim oluşturduğu incelenmiştir.



**Şekil 2.** Referans motor için sabit stator büyüklükleri altında rotor bariyer değişimi (soldan sağa doğru 3-4-5 olarak verilmiştir).

Şekil 2’de yer alan modellerin oluşturulmasında kullanılan rotor büyüklüklerinin (Bariyer sayısı,  $H$ ,  $W$ ,  $R$ ,  $B_0$ ,  $R_b$ ,  $Y_0$ ,  $R_0$ ) ölçüleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Rotor Tasarımı İçin Referans Büyüklükler.

Rotor Boyutlandırma Büyüklükleri	Değeri	Birimi	Rotor
Bariyer Sayısı	3-4-5	-	
Bariyer uç köprü kalınlığı ( $H$ )	1	mm	
Bariyer köprü genişliği ( $W$ )	1	mm	
Bariyer uç yarıçapı ( $R$ )	0,5	mm	
Bariyer köprü yüksekliği ( $B_0$ )	5	mm	
Akı bariyeri başlama yarı çapı ( $R_b$ )	21	mm	
Akı bariyeri demir genişliği ( $Y_0$ )	5	mm	
Akı bariyeri köşe demir yarıçapı ( $R_0$ )	18	mm	

Rotora ait Bariyer sayısı,  $H$ ,  $W$ ,  $R$ ,  $B_0$ ,  $R_b$ ,  $Y_0$ ,  $R_0$  değişkenler minimum ve maksimum aralıkları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Rotor Tasarımı Giriş Değişkenleri ve Sınırları.

Rotor Boyutlandırma Büyüklükleri	Değeri	Birimi	Minimum Değeri	Maksimum Değer
Bariyer Sayısı	3-4-5			
H	1	mm	0,5	2
W	1	mm	0	2
R	0,5	mm	0	2
Rb	18	mm	18	19
B <sub>0</sub>	5	mm	2,5	5
Y <sub>0</sub>	5	mm	2,5	5
R <sub>0</sub>	18	mm	0	36

Aşağıda verilen amaç fonksiyonları doğrultusunda optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak çok amaçlı genetik algoritma yöntemi (MOGA) seçilmiştir. Maksimum iterasyon sayısı 500 olarak sınırlandırılmıştır. Seçilen optimizasyon yöntemi için A.F.1’de her bir optimize edilecek büyüklük için maksimum ve minimum operatör seçilememektedir. Bu nedenle sınır değerleri girilmiştir. Önerilen amaç fonksiyonlarının benzer tanımlamaları farklı motor ve jeneratörler için önerilmiştir. Örneğin hat başlatmalı sürekli mıknatıslı motor için maliyet ve ağırlık içeren optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir (Topaloğlu ve ark., 2014), yine benzer bir yaklaşım tüp tipi doğrusal jeneratör için tepki yüzeyi metodolojisi ve MOGA ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir (Arslan ve ark., 2022). Burada ele alınan amaç fonksiyonları referanslarda belirtilen maliyet ve ağırlık yerine tork dalgalanması olarak ele alınmıştır.

**Tablo 3.** MOGA için tanımlanan amaç fonksiyonları.

Amaç Fonksiyonu	Amaç Fonksiyonu Açıklama	Amaç Fonksiyonu Tanımlamaları	Operatör	Değeri	Ağırlık	Birimi
Amaç fonksiyonu 1 (A.F.1)	Ulaşılmaması hedeflenen tork, tork dalgalanması ve verim değeri tanımlanmıştır. Her üç senkron relüktans motor için tasarımsal açıdan eşit ağırlık ile tanımlanmıştır.	<i>Tork</i>	$\geq$	34	1	<i>Nm</i>
		<i>Tork Dalgalanması</i>	=	0	1	<i>Nm</i>
		<i>Verim</i>	=	1	1	-
Amaç fonksiyonu 2 (A.F.2)	A.F.1 için verilen üç büyüklük tek bir formülle ifade edilerek genel performans artırımı amaçlanmıştır. Üç büyüklük için negatif tam sayılı ifade olmadığından dolayı ifadeyi maksimum yapacak en uygun boyutlandırma verisi aranmıştır.	$\frac{Tork * Verim}{Tork Dalgalanması}$	Maksimize	-		
Amaç fonksiyonu 3 (A.F.3)	Tork ve verimi yükseltecek boyutlandırma büyüklüğünün bulunması hedeflenmiştir.	<i>Tork * Verim</i>	Maksimize	-		
Amaç fonksiyonu 4 (A.F.4)	Motor veriminin artması beklenirken aynı zamanda tork dalgalanmasını küçülten boyutlandırma büyüklüğünün bulunması hedeflenmiştir.	$\frac{Verim}{Tork Dalgalanması}$	Maksimize	-		



Amaç fonksiyonu 5 (A.F.5)	Sadece verimi yükseltecek boyutlandırma büyüklüğünün bulunması hedeflenmiştir.	Verim	Maksimize	-
---------------------------	--	-------	-----------	---

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3'te verilen amaç fonksiyonlarına göre Tablo 4 ve Tablo 5'te sırasıyla optimizasyon sonuçları verilmiştir. Burada bariyer sayısının ve rotor boyutlandırma büyüklüklerinin değişimi Tablo 5'te görüldüğü üzere motor performansını önemli ölçüde değiştirmektedir.

**Tablo 4.** MOGA'da amaç fonksiyonlarına göre elde edilen en uygun rotor boyutlandırma büyüklükleri.

	Bariyer Sayısı	B <sub>0</sub> (mm)	H (mm)	R <sub>0</sub> (mm)	R <sub>b</sub> (mm)	R (mm)	W (mm)	Y <sub>0</sub> (mm)
Amaç Fonksiyonu 1	3	4,513	0,5739	31,56	18,1	0,5386	0,07065	2,987
	4	4,319	0,613	12,56	18,2	0,711	0,327	3,933
	5	4,15	1,302	18,86	18,28	0,1491	0,03317	2,992
Amaç Fonksiyonu 2	3	2,688	1,821	33,89	18,27	0,0488	0,5027	3,679
	4	2,521	1,344	10,06	18	1,32	0,2361	2,51
	5	3,068	1,534	7,534	18,36	0,4241	1,786	4,266
Amaç Fonksiyonu 3	3	4,839	0,5882	10,13	18,58	0,04814	0,03183	4,164
	4	4,966	0,5412	34,08	18,93	0,05477	0,03232	4,747
	5	4,913	0,5338	21,31	18,74	0,5548	0,03469	3,373
Amaç Fonksiyonu 4	3	2,895	1,928	8,631	18,13	0,3405	0,5736	3,452
	4	2,509	1,785	0,413	18	0,00572	0,9521	2,515
	5	2,812	1,833	25,17	18,84	0,6245	1,866	4,268
Amaç Fonksiyonu 5	3	4,895	0,5173	33,62	18,68	1,652	0,1664	4,524
	4	4,211	0,524	34,1	18,37	0,9546	0,08756	2,874
	5	4,979	0,5427	20,2	18,38	1,689	0,126	3,578

Tablo 5'te verilen optimizasyon sonuçları incelendiğinde; motor performansını artırmaya yönelik tanımlanan fonksiyonlar içerisinde en iyi sonuçlar A.F.1 ile elde edilmiştir. Diğer optimizasyon sonuçları incelendiğinde ele alınan amaç fonksiyonuna göre çıkış performansı değişmiştir. Örneğin; A.F. 2 ve A.F. 4 düşük tork dalgalanması sunmasına karşın çıkış gücü ve tork büyüklüğü açısından uygun değildir. Özellikle performansın yüksek olmasına karşın tork dalgalanmasının yüksekliği nedeniyle A.F. 3 ve A.F. 5 sonuçları uygun değildir. A.F.1'de 4 ve 5

bariyerli sonuçlar çıkış gücü, tork, verim ve özellikle düşük tork dalgalanması açısından en uygun sonuç olduğu söylenebilir. Buradaki 4 ve 5 bariyerli tasarımlar için mekanik ve sıcaklık analizleri gerçekleştirildikten sonra imal edilerek testleri gerçekleştirilebilir.

**Tablo 5.** MOGA’da amaç fonksiyonlarına göre elde edilen en uygun rotor verileri.

Tanımlamalar	Bariyer Sayısı	Çıkış gücü ( $W$ )	Verim	Tork ( $Nm$ )	Tork Dalgalanması	Tork/ Tork Dalgalanması Oranı	Faz Akımı ( $A$ )	Çıkıntı Oranı ( $Ld/Lq$ )	İterasyon Numarası	Maliyet
A.F.1	3	4491,4580	0,9612	27,8283	7,7590	3,586583	10,7812	4,8106	456	100,6
	4	<b>5474,2546</b>	<b>0,9624</b>	<b>34,0128</b>	<b>4,9986</b>	<b>6,804465</b>	<b>12,3316</b>	<b>6,2181</b>	<b>415</b>	<b>27,804</b>
	5	<b>5635,6102</b>	<b>0,9594</b>	<b>34,8051</b>	<b>5,1703</b>	<b>6,731737</b>	<b>12,8445</b>	<b>6,0104</b>	<b>390</b>	<b>27,979</b>
A.F.2	3	2239,5512	0,9226	13,6391	1,2253	11,13123	7,1850	2,7936	423	-10,077
	4	2851,7826	0,9347	17,3379	1,7932	9,668693	8,0090	3,3715	444	-10,035
	5	3383,9965	0,9444	20,0271	2,3715	8,444908	8,5995	3,8452	413	-7,1902
A.F.3	3	5103,1384	0,9693	31,7673	18,2952	1,736373	11,7749	5,4868	447	-30,762
	4	6864,1267	0,9659	42,9709	19,8276	2,167226	15,1702	7,9063	462	-41,408
	5	7709,4621	0,9774	48,3838	23,6928	2,042131	16,8787	8,7402	435	-47,216
A.F.4	3	2183,6832	0,9204	13,1738	1,1568	11,38814	7,1042	2,7339	431	-0,73057
	4	2421,7312	0,9224	14,4847	1,3179	10,99074	7,4155	2,9061	423	-0,77432
	5	2814,7021	0,9335	16,2469	1,8288	8,883913	7,7330	3,2531	439	-0,44251
A.F.5	3	5141,2492	0,9757	31,9277	15,9860	1,997229	11,6096	5,7166	439	-0,98387
	4	5506,2068	0,9778	34,2493	11,0018	3,113063	12,3943	5,9276	449	-0,98452
	5	7449,7885	0,9828	46,6130	23,8347	1,955678	16,0849	8,5289	464	-0,98459
REFERANS MOTOR	3	4708,68	0,955	29,976	5,49	5,460109	11,44	5,38	-	-
	4	5457,2916	0,9619	34,74	7,32	4,745902	12,64	6,25	-	-
	5	5873,14	0,972	37,389	8,99	4,158954	12,73	6,702	-	-

**Tablo 6.** A.F.1 ile referans motorun karşılaştırılması (4 bariyer).

	Çıkış gücü ( $W$ )	Verim	Tork ( $Nm$ )	Tork Dalgalanması	Faz Akımı ( $A$ )	Çıkıntı Oranı ( $Ld/Lq$ )
Referans motor	5457,2916	0,9619	34,74	7,32	12,64	6,25
A.F.1	5474,2546	0,9624	34,0128	4,9986	12,3316	6,2181
Performans değişimi (%)	+0,31	+0,05	-2,09	-31,71	-2,44	-0,51

**Tablo 7.** A.F.1 ile referans motorun karşılaştırılması (5 bariyer).

	Çıkış gücü ( $W$ )	Verim	Tork ( $Nm$ )	Tork Dalgalanması	Faz Akımı ( $A$ )	Çıkıntı Oranı ( $Ld/Lq$ )
Referans motor	5873,14	0,972	37,389	8,99	12,73	6,702
A.F.1	5635,6102	0,9594	34,8051	5,1703	12,8445	6,0104
Performans değişimi (%)	-4,04	-1,30	-6,91	-42,49	+0,90	-10,32

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada çok amaçlı genetik algoritma (MOGA) yöntemi kullanılarak motor performansının artırılmasına ilişkin amaç fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu amaç fonksiyonlarının çıkış büyüklükleri ve referans motorun çıkış büyüklükleri incelenmiştir. Tork, verim ve tork dalgalanması parametreleri başlı başına hedef olarak optimizasyon sürecine dahil edilmemelidir. Bu büyüklükleri içeren amaç fonksiyonları ile motor performansı artırılabilir. Çalışmada motor performansı artarken aynı zamanda tork dalgalanmasının artması uygun motor tasarımından uzaklaştırır. Amaç fonksiyonlarının farklı bariyer sayılarındaki optimizasyon sonuçları incelendiğinde bariyer sayısının artışı motor performansını artırdığını göstermiştir. Amaç fonksiyonu 1 ile gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları incelendiğinde, referans motorun performans sonuçlarından daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca diğer amaç fonksiyonları Elektrik motoru çalışmaları için ele alınan amaç fonksiyonları kullanılabilir ve motor performansının artırımı açısından incelenebilir. Literatürde yer alan farklı amaç fonksiyonları çok amaçlı genetik algoritma (MOGA) yöntemi kullanılarak analizler yapılabilir.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tez çalışması kapsamında ikinci ve üçüncü yazarın danışmanlığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- Arslan, S. (2016). Dalgıç Motorun Analitik, Sayısal, Performans Sonuçlarının Karşılaştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 403-415.
- Arslan Serdal, Akkaya Oy Sibel, Tören Murat (2016). Amorphous Nüveli Dalgıç Motorun ve Üç Fazlı Amorf Nüveli Transformatörün Demir Kayıplarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. 1. International Academic Research Congress
- Arslan, S., Gurdal, O., Akkaya Oy, S. (2020). Design and optimization of tubular linear permanent-magnet generator with performance improvement using response surface methodology and multi-objective genetic algorithm. *Scientia Iranica*, 27(6), 3053-3065.
- Babetto, C., Bacco, G., & Bianchi, N. (2018). Synchronous reluctance machine optimization for high-speed applications. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(3), 1266-1273.
- Bacco, G., & Bianchi, N. (2018). Design criteria of flux-barriers in synchronous reluctance machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(3), 2490-2498.
- Cupertino, F., Pellegrino, G., & Gerada, C. (2014). Design of synchronous reluctance motors with multiobjective optimization algorithms. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(6), 3617-3627.
- Heidari, H., Rassölkın, A., Kallaste, A., Vaimann, T., Andriushchenko, E., Belahcen, A., & Lukichev, D. V. (2021). A review of synchronous reluctance motor-drive advancements. *Sustainability*, 13(2), 729.
- Lovelace, E. C., Jahns, T. M., & Lang, J. H. (2002). A saturating lumped-parameter model for an interior PM synchronous machine. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 38(3), 645-650.
- Murata, T., & Ishibuchi, H. (1995, November). MOGA: multi-objective genetic algorithms. In *IEEE international conference on evolutionary computation* (Vol. 1, pp. 289-294). Piscataway, NJ, USA: IEEE.
- Özçelik, N. G., (2016). IE4 verim sınıfı senkron relüktans motor tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özdil, A., & Uzun, Y. (2021). Design and Analysis of a Rotor for a 22 kW Transversally Laminated Anisotropic Synchronous Reluctance Motor. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 27(6), 17-24.
- Palmieri, M., Perta, M., Cupertino, F., & Pellegrino, G. (2014, May). Effect of the numbers of slots and barriers on the optimal design of synchronous reluctance machines. In *2014 international conference on optimization of electrical and electronic equipment (OPTIM)* (pp. 260-267). IEEE.
- Sanada, M., Hiramoto, K., Morimoto, S., & Takeda, Y. (2004). Torque ripple improvement for synchronous reluctance motor using an asymmetric flux barrier arrangement. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 40(4), 1076-1082.
- Sizov, G. Y., Ionel, D. M., & Demerdash, N. A. (2011, May). Multi-objective optimization of PM AC machines using computationally efficient-FEA and differential evolution. In *2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)* (pp. 1528-1533). IEEE.
- Solak, B., (2021). Senkron Relüktans Motorda Moment Dalgalanmasının Azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tarımer, İ., Arslan, S., & Güven, M. E. (2012). Investigation for losses of M19 and amorphous core materials asynchronous motor by finite elements methods. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 18(9), 15-18.
- Tawfiq, K. B., Ibrahim, M. N., El-Kholy, E. E., & Sergeant, P. (2021). Performance Improvement of Synchronous Reluctance Machines—A Review Research. *IEEE Transactions on Magnetics*.
- Topaloglu, I., Mamur, H., Korkmaz, F., & Cakir, M. F. (2014, October). Design and optimization of surface mounted line start permanent magnet synchronous motor using electromagnetic design tool. In *2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)* (pp. 87-90). IEEE.
- Wang, K., Zhu, Z. Q., Ombach, G., Koch, M., Zhang, S., & Xu, J. (2015). Torque ripple reduction of synchronous reluctance machines: using asymmetric flux-barrier. *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*.
- Zhang, Z. (2021, May). Advanced non-permanent-magnet reluctance machines for traction applications: A review. In *2021 IEEE 12th Energy Conversion Congress & Exposition-Asia (ECCE-Asia)* (pp. 2052-2058). IEEE.

## **Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması- Genetik Algoritma ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritma Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması**

Aykut Fatih GÜVEN<sup>1\*</sup>, Nuran YÖRÜKEREN<sup>2</sup>

### **Öz**

Bu makale, bir üniversite kampüsünün enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış bir Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin (HRES) detaylı bir fizibilite araştırmasını sunmaktadır. HRES, Rüzgar Türbini (WT), Fotovoltaik (PV), Dizel Jeneratör, Batarya ve invertör bileşenlerini içerir. Güç dengesi kısıtlamasına bağlı olarak, Sistemin Yıllık Maliyetini azaltmak ve optimum WT gücünü, PV panel gücünü ve pil sayısını belirlemek için farklı optimizasyon teknikleri uygulanır. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti ve Toplam Net Bugünkü Maliyeti en aza indirecek şekilde bir enerji yönetimi stratejisi sunulmakta ve Güç Kaynağı Kaybı Olasılığının operasyonun güvenilirliğini doğruladığı düşünülmektedir. Bileşenlerin optimum boyutlandırılmasını bulmak için HOMER ve MATLAB yazılımı kullanılarak sonuçlar elde edilir. Genetik Algoritma (GA), simülasyon sürecinde daha iyi performans göstererek hızlı ve güvenilir sonuçlar sunar. GA'yı en iyi sistem konfigürasyonunda kullanmak, sırasıyla  $3.407975 \times 10^3$  kW PV, 50 kW WT ve 951.5493 kW Batarya,  $3.9808 \times 10^5$  yıllık sistem maliyeti (ACS),  $6.4580 \times 10^6$  net mevcut maliyet (NPC) ve 0.1998\$/kWh. Güneş panelleri tüm sistemi kaplar ve Yenilenebilir Enerji Fraksiyonu (REF) %100'dür. Sonuçlar, bu çalışmada önerilen şemanın, aynı optimal konfigürasyonu kullanarak düzgün bir güç akışı sağlayabileceğini açıkça göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji yönetimi, Algoritmalar, Optimal planlama, Güneş enerjisi, Hızlı boyutlandırma.

## **Energy Management and Optimization of a Hybrid Energy System by Particle Swarm Optimizing Algorithm-Genetic Algorithm and Gray Wolf Optimizing Algorithm Technique: A case study for Yalova University**

### **Abstract**

This article presents a detailed feasibility investigation of a Hybrid Renewable Energy System (HRES) designed to meet the energy needs of a university campus. The HRES includes Wind Turbine (WT), Photovoltaic (PV), Diesel Generator, Battery, and inverter components. Based on the constraint of power balance, different optimization techniques are applied to reduce the Annual Cost of the System and determine the optimum WT power, PV panel power, and number of batteries. An energy management strategy is presented in a way to minimize the Levelized Cost of Energy and Total Net Present Cost, and it is thought that the Loss of Power Supply Probability validates the reliability of the operation. To find the optimum sizing of the components, results are obtained using the HOMER and MATLAB software. The Genetic Algorithm (GA) outperforms during the simulation process, delivering quick and dependable results. Using GA in the best system configuration,  $3.407975 \times 10^3$  kW PV, 50 kW WT and 951.5493 kW Battery,  $\$3.9808 \times 10^5$  annual system cost (ACS),  $\$6.4580 \times 10^6$  net present cost (NPC), and  $\$0.1998/\text{kWh}$ , respectively. Solar panels cover the entire system, and the Renewable Energy Fraction (REF) is 100%. The results clearly show that the scheme that is proposed in this study can achieve a smooth flow of power using the identical optimal configuration.

**Keywords:** Energy management, Algorithms, Optimal planning, Solar energy, Fast sizing.

<sup>1</sup>Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, [afatih.guven@yalova.edu.tr](mailto:afatih.guven@yalova.edu.tr)

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, [nurcan@kocaeli.edu.tr](mailto:nurcan@kocaeli.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1071-9700>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5092-4952>

## 1. Giriş

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfus yoğunluğu ve teknolojik gelişme, son yıllarda küresel enerji talebini artırmıştır. Günümüzde elektrik üretimi öncelikle sonlu fosil yakıtlara dayanır ve bu yakıtlar çevreye zararlı olan sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmaktadır (Voloshin ve ark., 2016). Sonuç olarak, fotovoltaik (PV) güneş enerjisi ve rüzgar türbinleri (WT) en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve kendi kendine yeten mikro şebekelerin temelidir (Saheb-Koussa ve Koussa, 2016).

Güneş ve rüzgar hem yenilenebilir hem de temiz yeşil enerji kaynaklarıdır. Bu yenilenebilir enerji türleri, doğaya zarar veren karbon emisyonlarının en aza indirilmesi, yerli kaynaklar oldukları için ithalat gerektirmemesi ve bu sayede enerji açısından dışa bağımlılığın azaltılması gibi konularda oldukça önemlidir (He ve ark., 2018).

Güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklarının güneş ışması ve rüzgar hızı, saatten saate veya günden güne önemli ölçüde değişebilir. Bu, hibrit bir enerji sisteminde büyük bir belirsizlik yaratır. Depolama ve yedekleme kaynaklarının kullanılması sorunu çözerken, üretim maliyetlerini de yükseltir. Sonuç olarak, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarından elde edilen sayısal verilerin ölçülmesinin yanı sıra, elektrik enerjisi üretim sisteminin verimli bir şekilde planlanması, yönetimi ve işletilmesi, belirsizliklerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu belirsizliklerin en temel ve vazgeçilmez çözümü, çoklu RES (HRES) içeren hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılmasıdır. Hibrit bir enerji sisteminde istenilen saat ve mevsimlerde birden fazla enerji kaynağının kullanılması, tek bir kaynaktan gelen enerjiden daha düşük maliyetle enerji üretimi sağlanabilir. Ayrıca, yük talebini karşılamak için HRES'in boyutunu optimize etmek, optimizasyon algoritmalarının zor işlem adımları, enerji kaynaklarının değişkenliği ve maliyet hesaplamasının zorluğu nedeniyle karmaşıktır.

HRES'lerle ilgili literatür taraması, bu tür sistemlerin farklı niteliklerine odaklanan birkaç farklı çalışmayı ortaya koymuştur. Bu tür çalışmalar arasında HRES'ler için güç yönetimi ve optimal boyutlandırma metodolojileri ön plana çıkmıştır. Yenilenebilir enerji üretiminin şebeke içi ve şebeke dışı sistemlerinde, hibrit bir sistem oluşturmak için konfigürasyonlarda çeşitli bileşenler kullanılır. Güvenilir ve uygun maliyetli bir hibrit enerji sistemi tasarlamak için, bu sistemin güç yönetimi süreci ve her bileşenin boyutlandırılması optimum şekilde belirlenmelidir. Rüzgar, güneş ışığı, dizel jeneratörler ve piller gibi yenilenebilir enerji bileşenleri çeşitli şekillerde birleştirilebilir.

HRES'lerin optimal boyutlandırma problemlerine cevap vermek için optimizasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır. Boyutlandırma teknikleri genellikle karmaşıklık seviyelerine göre olasılıksal, analitik, yinelemeli ve hibrit yöntemler olarak dört başlık altında kategorize edilirken, bir diğer sınıflandırma ise HOMER gibi yazılım araçlarıyla kullanılan optimizasyon teknikleri üzerinde yapılır. Optimizasyon algoritmaları, doğadan ilham alan yaklaşımları kullanarak en aza indirme veya maksimize etme problemlerini çözmeyi amaçlayan yapay zeka tekniklerinin bir parçasıdır. Bu

algoritmalar ayrıca deterministik ve stokastik algoritmalar olarak iki gruba ayrılabilir. Stokastik optimizasyon, sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımları içerir. Sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlarla, optimizasyon problemleri en aza indirme veya maksimize etme problemleri olarak kurulabilir ve çözülebilir. Fotovoltaik, rüzgar türbinleri, dizel jeneratörler (DG) ve piller (Batt) bileşenlerini içeren şebekeden bağımsız bir sistem tasarımı için optimum çalışma koşullarını elde etmek için kullanılan bazı algoritmalar, Genetik Algoritma(GA), evrimsel algoritmalar, Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) algoritması, çekirge optimizasyon algoritması, kedi sürü optimizasyon algoritması, simüle tavlama algoritması, emperyalist rekabetçi algoritmalar, yapay arı kolonisi algoritması olarak sıralanabilir. Ateş böceği algoritması, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmaları, karga arama algoritması, öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) algoritması ve gri kurt optimize edici (GWO) algoritması. Bu algoritmalar PSO algoritması, GWO ve TLBO algoritmaları yüksek verimlilik ve hızlı yakınsama sağlar (Talla Konchou ve ark., 2021). Bukar ve ark., COE ve LPSP eksikliğine dayalı enerji taleplerini güvenilir bir şekilde karşılayacak bir HRES'nin bileşenleri arasında güç akışına izin veren sağlam bir kural tabanlı enerji yönetim programı önerdi. Ayrıca, optimizasyon probleminin çözümünde otonom mikro şebekenin optimal boyutlandırma problemi için önerilen çekirge optimizasyon algoritmasının etkinliği ve performansı, PSO ve Guguk Kuşu Arama(GOA) optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmış ve GOA'nın optimum boyutlandırma çözümünü sağladığı MATLAB'daki simülasyon yoluyla doğrulanmıştır (Bukar ve ark., 2019). Benzer şekilde, araştırmacılar PSO algoritmasını, GA ve Harmony Arama Algoritmasını benzer sistemler için Çok Yönlü Yarasa Arama Algoritması (MD-BAT) ile karşılaştırdılar. Sonuç olarak, MD-BAT ile daha yüksek doğrulukta ve daha hızlı optimum bir sonuç elde edilmiştir (Shivaie ve ark., 2019). Suudi Arabistan'daki Yanbu şehri için bir HRES'nin optimal boyutlandırılması, Çok amaçlı kendinden uyarlanabilir diferansiyel evrim algoritması kullanılarak elde edildi (Ramli ve ark., 2018). İklim kaynaklarını ve değerli arazi kaynaklarını dikkate alarak, Zhu ve ark. gelgit akımı ve rüzgar türbinleri ve batarya depolama sistemlerinden oluşan bir ada HRES kurarak, güç kaynağı olasılık kaybı, enerji deşarj olasılığı ve enerji maliyetini en aza indirmek için, Halton dizisine ve sosyal motivasyon stratejisine dayanarak, çok amaçlı GWO'nun gözden geçirilmiş bir versiyonu önermiştir (Zhu ve ark., 2021). Kamerun'daki Makénéne'de bulunan bir topluluk multimedya kompleksi için Hermann ve ark., PSO algoritmasını, hibrit parçacık sürü optimizasyonu - gri kurt optimizasyonu algoritmasını, hibrit gri kurt optimizasyonu - guguklu arama algoritmasını ve sinüs kosinüs algoritmasını kullanarak bir HRES'nin optimal tasarımını gerçekleştirmiştir (Hermann ve ark., 2022). Geleneksel bir çözücünün performansları ve şebekeden bağımsız bir HRES'nin seviyelendirilmiş enerji maliyetini hesaplamak için dinamik PSO algoritması karşılaştırılmıştır. Araştırmacıların amacı, fotovoltaik güç kaynaklarının, rüzgar türbinlerinin, dizel jeneratörlerin ve akü bankalarının seviyelendirilmiş maliyetlerini göz önünde bulundurarak HRES'nin optimum boyutlandırılmasını belirlemektir.

Sonbahar, İlkbahar, Yaz ve Kış için yük verilerini kullanarak yükün mevsimsel etkisini dikkate alarak, geleneksel çözücünün yerel bir minimum çözüm ürettiğini, dinamik PSO algoritmasının ise mutlak optimum çözümü sağlandığı araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir (Singh ve ark., 2020). Başka bir çalışmada, bir HRES'in optimal boyutlandırılması Fathy ve ark. tarafından Sosyal Örümcek Optimizasyonu (SSO) algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, SSO algoritmasının sonuçlarını Harris Hawks İyileştirici, GWO, Karınca aslanı algoritmaları ve Balina Optimizasyon Algoritması (WOA) ile karşılaştırdılar (Fathy ve ark., 2020). Alturki ve ark., bir HES boyutlandırma probleminin çözümünde uzun vadeli maliyet analizine dayanan Arz-Talep Optimizasyonu (SDO) algoritması olarak bilinen yeni bir hesaplamalı zeka algoritması kullanmışlardır. SDO algoritmasının performansı GA, PSO, GWO, GOA, çiçek tozlaşma algoritması ve büyük patlama büyük çırtı yöntemleri ile karşılaştırılmıştır (Alturki ve ark., 2021). Geleta ve ark., PV / WT hibrit sistemlerinin toplam yıllık maliyetini optimize etmek için Yerçekimsel Arama Algoritmasını (GSA) kullanmıştır. GSA ve PSO ile elde edilen sonuçları karşılaştırıp ve GSA ile daha iyi ekonomik sonuçlar elde edildiğini vurguladılar. (Geleta ve Manshahia, 2020). Başka bir çalışmada, yazarlar bir HRES'deki optimum PV / WT / Batt değerlerini belirlemek için GWO'yu kullandılar. Elde ettikleri sonucun uygulanabilir olup olmadığını kontrol etmek için, GWO sonuçlarını PSO'nun sonuçları, yinleme tekniği ve diğer araştırmacıların çalışmaları ile karşılaştırdılar. Buna göre, GWO algoritmasının daha iyi özelliklerini gösterdiler (Geleta ve ark., 2020). Namib Çölü'ndeki kırsal bir ortam için, Chen ve ark. enerji yükü talebini karşılamak açısından optimal bir hibrit sistem incelemiştir. CO<sub>2</sub> emisyon değerini, yıllık maliyeti ve sistemin güç kaybı olasılığını minimumda tutmak için, geliştirilmiş bir karga arama algoritmasının yanı sıra  $\epsilon$  kısıtlama tekniği kullanılmış ve algoritma daha sonra doğrulanmıştır. Optimize edilmiş sistemde, kullanılan yöntemin verimliliğini göstermek için HOMER ve PSO tabanlı yöntemlerle karşılaştırılmıştır (Chen ve ark., 2021).

Literatürde farklı bakış açıları olmasına rağmen, bu çalışmanın temel amacı, enerji yükü talebinin güvenilir bir şekilde karşılandığı, maliyetin nispeten düşük olduğu ve çevresel etkinin minimum olduğu belirli bir alan için bağımsız bir HRES tasarlamak ve optimize etmektir. Rüzgar türbini ve PV panel gücü meteorolojik sayısal veriler kullanılarak hesaplanır. Yıllık Sistem Maliyeti (ACS) en aza indirilir, kullanılan bileşen parçalarının optimum boyutu ortaya çıkarılır ve HRES'e PSO, GA ve GWO algoritma teknikleri uygulanarak her algoritmanın sayısal sonuçları karşılaştırılır. Bu makalenin en önemli katkısı, yeterli doğal kaynaklara sahip bir bölgenin elektrik yükü talebinin tam olarak karşılanması ve TGE (Toplam Gaz Emisyonu) değerinin sıfır olmasıdır.

Bu makale beş bölüme ayrılmıştır. Hibrit enerji sisteminin ve RE bileşenlerinin modellenmesi Bölüm 2'de açıklanmıştır. Bölüm 3, metodolojiye (sistem modelleme), enerji yönetimi stratejisine, yük talebine, optimizasyon algoritmalarına ve sürece üst düzey bir genel bakış sunmaktadır. HRES



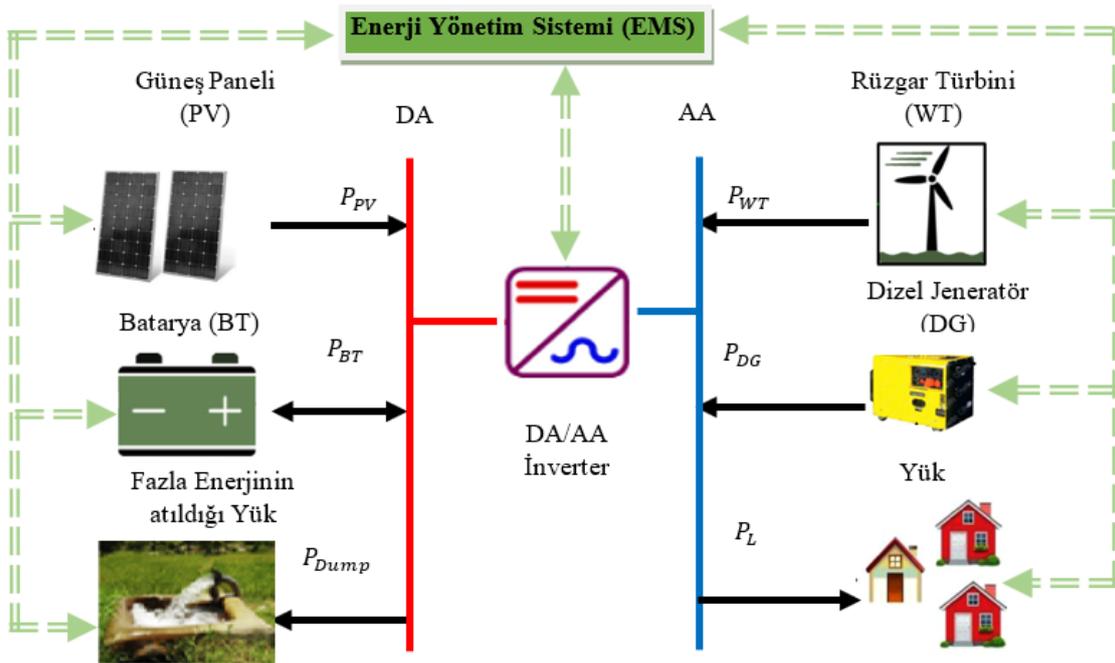
için simülasyon sonuçları ve tartışma Bölüm 4'te sunulmakta ve sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar için neler yapılabileceği Bölüm 5'te tartışılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

Bu bölümde, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi, yük talebi, ekonomik hesaplamalar, maliyet optimizasyonu, tekno-ekonomik kısıtlamalar, optimizasyon teknikleri ve HRES tasarlamak için yürütme adımlarının yanı sıra sistem boyutlandırma, bileşen ayrıntıları ve modelleme açıklanmaktadır. Elektrik talebini mümkün olan en düşük maliyetle karşılamak için şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sistemi verimli bir şekilde tasarlanmalıdır. Bu araştırmada, mikro enerji sistemi Hibrit Optimizasyon Çoklu Enerji Kaynakları (HOMER) yazılımı ve metasezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir.

### 2.1. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Modellenmesi

Bu makaledeki bağımsız mikro şebeke, güneş panelleri, rüzgar türbinleri, dizel jeneratörler ve pil bileşenlerinden oluşmaktadır. Önerilen bağımsız hibrit PV / rüzgar / pil / dizel enerji sistemi Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. En iyi mikro şebeke boyutunu belirlemeden önce, mikro şebekenin bileşenleri modellenmelidir. Hibrit sistem bileşenlerinin matematiksel modellenmesi, aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır:



Şekil 1. Şebekeden bağımsız PV/WT/DG/Batt bileşenlerinin şematik çizimi.

## 2.2. Fotovoltaik Enerji Sisteminin Modellenmesi

Bir PV sistemindeki her bir güneş paneli tarafından üretilen toplam güç, sistem tarafından üretilen toplam güce eşittir. Basitleştirilmiş PV modeli olarak da bilinen Denklem (1), her panelin saatte ürettiği gücü hesaplamak için ortam sıcaklığını ve güneş radyasyonunu kullanır (Ghenai ve ark., 2020).

$$P_{pvout}(t) = P_{(PVrated)} * \frac{v_i(t)}{1000} * [1 + \alpha_c((T_{amb} + (0.0256 * v_t)) - T_{CSTC})] \quad (1)$$

$P_{pvout}(t)$  PV modülünün çıkış gücünü (W),  $v_i(t)$  güneş radyasyonunun değerini ( $W/m^2$ ),  $P_{(PVrated)}$  standart koşullar altında nominal PV gücünü,  $\alpha_c$  sıcaklık katsayısını ( $-3.7 \times 10^{-3}$  ( $1/^\circ C$ )),  $T_{CSTC}$  hücre sıcaklığı ( $^\circ C$ ), ve  $T_{amb}$  ortam sıcaklığını ( $^\circ C$ ) ifade eder.

## 2.3. Rüzgar Enerjisi Sisteminin Modellenmesi

Bir rüzgar türbininin çıkış gücünü hesaplamak için en iyi model kullanılmalıdır. Rüzgar hızı, bir rüzgar türbininin belirli bir konumdaki çıkış gücünün birincil belirleyicisidir. WT güç çıkışı Denklem (2) kullanılarak hesaplanabilir (Chen ve ark., 2021).

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v(t) \leq v_{cut-in} \\ P_r \frac{v(t) - v_{cut-in}}{v_r - v_{cut-in}} & v_{cut-in} < v(t) < v_r \\ P_r & v_r < v(t) < v_{cut-out} \end{cases} \quad (2)$$

$P_r$  WT nominal gücü(kW),  $v(t)$  rüzgar hızı (m/s),  $v_{cut-out}$  WT'nin düşük kesme hızı (m/s),  $v_r$  WT nominal hızı (m/s) ve  $v_{cut-in}$  WT'nin yüksek kesme hızı değerleridir (m/s).

$$V_t = V_m * \left( \frac{H_t}{H_m} \right)^{a_h} \quad (3)$$

Denklem (3)'de,  $H_m$  WT referans yüksekliği (m),  $H_t$  WT hub yüksekliği (m),  $V_m$  WT hub yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s),  $V_t$  referans yüksekliğindeki hız (m/s) ve  $a_h$  üstel güç yasası değerlerini ifade eder.

## 2.4. Batarya Depolama Modellemesi

Yenilenebilir enerjinin aralıklarını ve yük talebini düzenlemek için bir depolama sistemi gereklidir. Piller, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji toplam yük talebini

aştığında şarj edilir. Bununla birlikte, yük talebi üretilen gücü aştığında, enerji açığını kapatmak için piller boşaltılır. Pilin şarj ve deşarj işlemlerini değerlendirmek için sırasıyla (4) ve (5) denklemleri kullanılır (Ahmadi ve Abdi, 2016).

$$E_{Batt,ch}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[ E_{WT}(t) + E_{PV}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} \right] * \eta_{BC} \quad (4)$$

$$E_{Batt,disch}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[ \frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} - (E_{WT}(t) + E_{PV}(t)) \right] * \eta_{BD} \quad (5)$$

$E_{Batt}(t)$  Batt'ın t saatindeki kullanılabilir kapasitesini (kWh),  $E_{Batt}(t-1)$  Batt'ın (t-1) saatteki kullanılabilir kapasitesini (kWh),  $E_L$  t saatindeki yük talebini (kWh),  $E_{WT}$  WT'nin t saatindeki enerji üretimini(kWh),  $\sigma$  Batt'ın kendi kendine boşalma oranını,  $E_{PV}$  PV-modülünün t saatinde enerji üretimini (kWh),  $\eta_{BC}$  Batt şarjının verimliliğini,  $\eta_{BD}$  Batt deşarjının verimliliğini ve  $\eta_{Inv}$  invertörün verimliliğini temsil eder. Batt şarj verimliliği, yukarıdaki iki denklemde de  $\eta_{BC}$  ve  $\eta_{BD}$  ile gösterilmiştir. Bu, her aşamada şarj akımına bağlı olarak değişecektir. Bu araştırmanın amaçları doğrultusunda, şarj verimliliğinin sabit% 90 olduğu düşünülmüştür.

Yenilenebilir enerji kaynakları fazla güç ürettiğinde, Batt bankalarına depolanır. Ancak, pil kapasitesi sınırlı olmalıdır. Batt bankası büyük miktarda enerji depolayamaz. Bataryalar tamamen şarj edilmişse fazla güç boşaltılmalıdır. İzin verilen maksimum deşarj derinliği (DOD) yüzde olarak görüntülenir. Bu çalışmada %80 kabul edilmiştir. Minimum Batt kapasitesi Denklem (6) ile hesaplanmıştır (Roslan ve ark., 2021).

$$E_{Batt\_min} = (1 - DOD) * E_{Batt\_max} \quad (6)$$

Ek olarak, herhangi bir saatte Batt kapasite kısıtlaması Denklem (7) ile ifade edilmiştir.

$$E_{Batt\_min} \leq E_{Batt}(t) \leq E_{Batt\_max} \quad (7)$$

Burada, DOD izin verilen maksimum Batt deşarjı derinliği (%),  $E_{Batt\_max}$  ve  $E_{Batt\_min}$  sırasıyla bataryanın maksimum ve minimum kapasitesidir.

## 2.5. Dizel Jeneratör Modellemesi

Hibrit bir enerji sisteminde, rüzgardan, güneş panelinden ve pil bankasından yeterli güç çıkışı eksikliğini dengelemek için bir DG kullanılır. Dizel jeneratörlerin verimliliği ve yakıt tüketimi bir

HRES tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır ve Denklem (8) 'de sunulmuştur (Kaabeche ve ark., 2011).

$$q(t) = a_{dg} * P_{DG}(t) + b_{dg} * P_r \quad (8)$$

Denklemden,  $P_{DG}(t)$  DG'nin t saatindeki güç çıkışını (kW),  $q(t)$  yakıt tüketimini (L/h),  $P_r$  ortalama DG gücünü,  $a_{dg}$  ve  $b_{dg}$  (L/kW) sırasıyla 0,246 ve 0,08415 olan standart yakıt tüketimi parametrelerini temsil eden sabitlerdir.

## 2.6. İnverter

İnvertör, RES'ler tarafından üretilen doğru akım (DA) gücünü alternatif akıma (AA) dönüştüren bir elektronik ekipman parçasıdır. Denklem (9), invertörün giriş gücünü hesaplamak için kullanılabilir ( $P_{inv}$ ).

$$P_{inv}(t) = P_L(t) / \eta_{inv} \quad (9)$$

Burada,  $P_L(t)$  ve  $\eta_{inv}$  sırasıyla yük gücü ve invertör verimliliğidir.

## 2.7. Enerji Sisteminin Ekonomik Parametrelerine İlişkin Veriler

Finansal analiz için hibrit enerji sisteminin fizibilitesini etkileyen hassas değişkenlerin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada, ekonomik parametreler %19 reel faiz oranı, %16,59 enflasyon oranı ve %8 iskonto oranı olarak belirlenmiştir. Hibrit enerji sisteminin 20 yıl ömürlüdür. Üreticiler tarafından, simülasyonlarda kullanılan HRES bileşenlerinin gerçek maliyet fiyatlandırması sağlanmıştır. Mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin teknik ve ekonomik parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Bileşenlerin teknik ve ekonomik özellikleri.

	Bileşenler	Parametreler	Değer	Birimler
A.	Güneş Paneli	Nominal kapasite	0.345	kW
		Sıcaklık katsayısı	-0.390	
		Çalışma sıcaklığı	44	°C
		Verimlilik	17.8	%
		Panel ömrü	20	Yıl
		Sermaye maliyeti	650	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	650	\$/kW
		Bakım ve İşletme maliyeti	50	\$/Yıl
B.	Rüzgar Türbini	Türbin anma gücü	1	kW

		Göbek yüksekliği	17	m
		Kurulum maliyeti	2000	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	2000	\$/kW
		İşletme ve Bakım maliyeti	200	\$/Yıl
		Yaşam süresi	20	Yıl
<b>C.</b>	<b>Batarya</b>	Anma gerilimi	600	V
		Nominal kapasite	100	kWh
		Kapasite (maksimum)	167	Ah
		Gidiş-dönüş verimliliği	90	%
		Battery şarj akımı (maksimum)	167	A
		Battery şarj durumu (minumum)	20	%
		Deşarj akımı (maksimum)	500	A
		Kullanım ömrü	10	Yıl
		Sermaye maliyeti	550.00	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	550.00	\$/kW
<b>D.</b>	<b>Dizel Jeneratör</b>	Kapasite	1000	kW
		Değiştirme maliyeti	175	\$/kW
		İşletme ve Bakım maliyeti	30	\$/kWh
		Sermaye maliyeti	175	\$/kW
		Yakıt fiyatı	1	\$/L
		Kullanım ömrü	10	Yıl
<b>E.</b>	<b>İnverter</b>	Kapasite	1	kW
		İşletme ve Bakım maliyeti	50	\$/Yıl
		Sermaye maliyeti	300	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	300	\$/kW
		Verimlilik	95	%
		Kullanım ömrü	15	Yıl
<b>F.</b>	<b>Ekonomik Parametreler</b>	Faiz oranı	19	%
		Enflasyon oranı	16.59	%
		İndirim oranı	8	%
		Sistem ömrü	20	Yıl

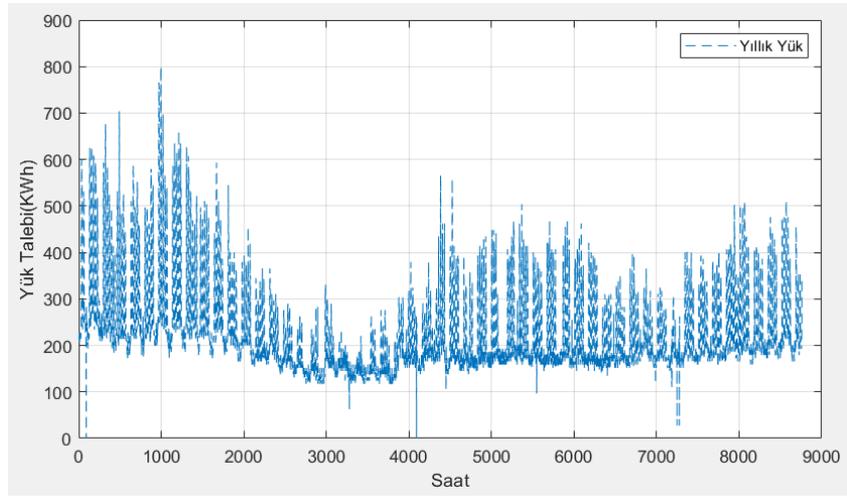
## 2.8. Çalışma Alanının Yük Değerlendirmesi

Çalışmada araştırma alanı olarak üniversite kampüsü seçilmiştir. Şekil 2, çalışma yeri olarak seçilen Türkiye'deki enlem: 40°39.2' K, boylam: 29°13.2' Doğu'da bulunan bir üniversitenin merkez kampüsünü göstermektedir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020 yılı için çalışma alanı için meteorolojik veriler sağlandı ve tüm yıl boyunca rüzgar hızı (saatlik), güneş radyasyonu, çevrenin sıcaklığı ve yük eğrileri çizildi. Üniversitede saat başına maksimum yük yaklaşık 800,4 kW, minimum talep ise 227,41 kW/yıl olarak gerçekleşmiştir. Ortalama günlük elektrik tüketimi 5457,84 kW/gün 'dür. Şekil, seçilen vaka çalışmasında (8760 saat) bir yıllık bir döngü için yük profilini göstermektedir. Söz konusu alan için gerçek yük verilerine dayanmaktadır.

Bahçelievler, Unnamed Road, 77200 Samanlı/Yalova Merkez/Yalova, Turkey ( 40°39.2'N , 29°13.2'E )



Şekil 2. Bu çalışma için belirlenen yerler.



Şekil 3. Kampüs için yıllık yük profili.

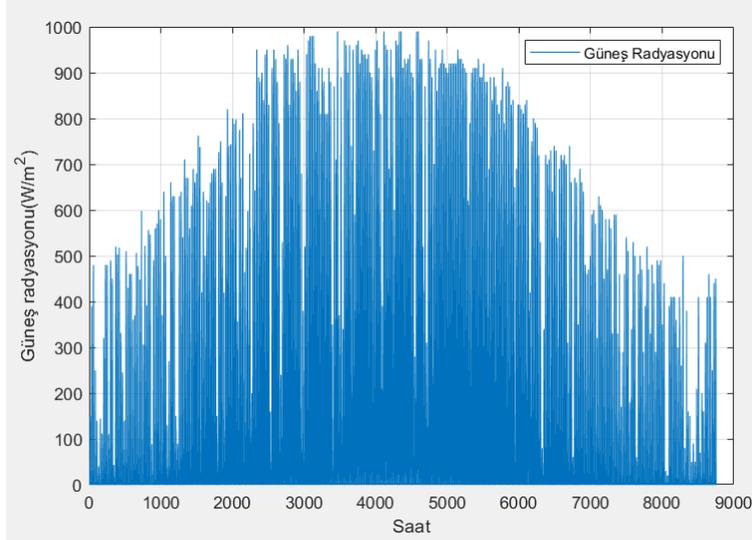
### 3. Metodoloji

Bu bölümde, çalışmanın ortaya koyduğu araştırma sorularını cevaplamak için kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. Alt bölümlerde, metodolojide kullanılan HRES boyutlandırma, enerji yönetimi stratejisi, objektif fonksiyon ve optimizasyon algoritmaları açıklanmaktadır.

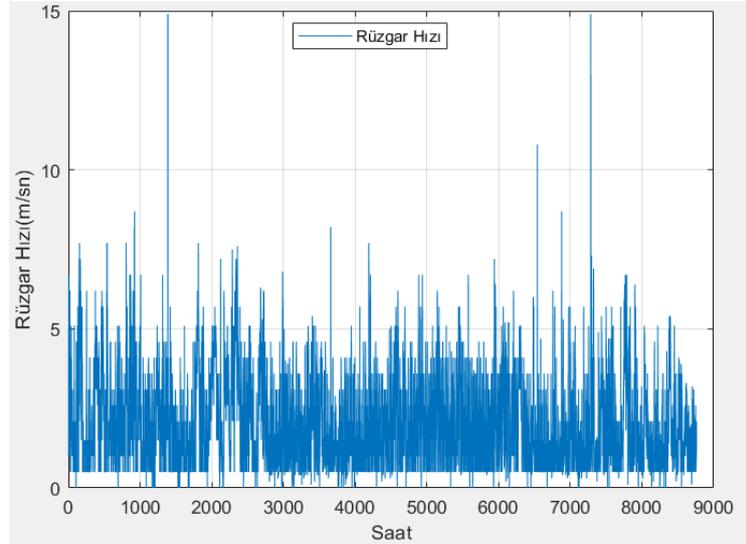
#### 3.1. Hibrit Enerji Sisteminin Optimizasyonu ve Boyutlandırması

HRES'in optimum boyutlandırılması için rüzgar hızı, ortamın sıcaklığı, güneş radyasyonu ve yük-talep verileri elde edilmiştir. Ayrıca, HRES bileşenlerinin tekno-ekonomik parametrelerinin gerçek zamanlı değerleri, MATLAB yazılımı kullanılarak veritabanında kümelendirilmiştir. Şekil (4), (5) ve (6) yıllık rüzgar hızını, güneş ışınlanmasını ve ortam sıcaklığı verilerini göstermektedir. Çalışmanın değerlendirme kriterleri ve hedefleri yıllık toplam Maliyet (ACS)'dir. Simülasyon, projenin 8760

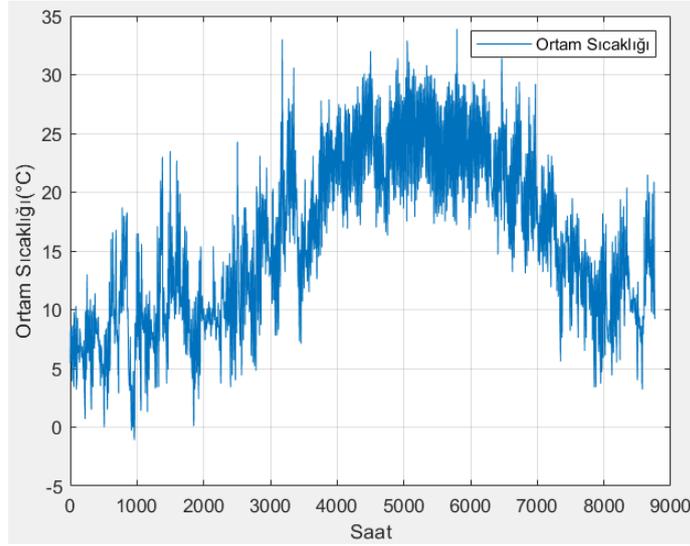
saatlik yaşam döngüsü boyunca her saatlik zaman adımında çalıştırılır. Belirlenen değerlendirme kriterleri ve sınırlamaları esas alınarak MATLAB yazılımı kullanılarak en uygun çözümler belirlenir. Sonuç olarak, en düşük Yıllık sistem değeri maliyetine sahip hibrit yenilenebilir enerji sistemi konfigürasyonu, çalışma için en iyi çözüm olarak seçilmiştir.



Şekil 4. İncelenen yerin yıllık güneş radyasyonu değerleri ( $W/m^2$ ).



Şekil 5. Çalışılan yerin yıllık rüzgar hızı değerleri (m/s).



Şekil 6. Çalışma yerinin yıllık ortam sıcaklığı değerleri (C°).

### 3.2. Hibrit Enerji Sisteminin Enerji Yönetimi

Enerji yönetiminin amacı, matematiksel olarak girdileri, çıktıları, hedefleri ve kısıtlamaları kontrol etmenin genel yöntemi olarak tanımlanır. Ayrıca, Enerji Yönetim Sistemi (EMS), hibrit enerji sisteminin bileşenleri arasındaki güç akışını yönetir (Mokhtara ve ark., 2021). Bu çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını en üst düzeye çıkarmaktır. Bu, yakıt tüketimini azaltır ve verimliliği artırırken aynı zamanda bataryanın bozulmasını önler. Döngü şarj stratejisine bağlı olarak, EMS denetleyicisi aşağıdaki senaryolarda çalışır:

**Durum 1:** Rüzgar ve güneş enerjisi kaynakları, yük talebini karşılamak için yeterli enerjiyi sağlar. Bu kaynaklardan gelen fazla enerji batarya bankalarını şarj edecektir. ( $E_{Batt}(t) < E_{Battmax}(t)$ ).

**Durum 2:** Üretilen Rüzgar ve güneş enerjisi yük talebini aşmaktadır. Bu fazla enerjiyi boşa harcamak için deşarj edilecektir. ( $E_{Batt}(t) = E_{Battmax}(t)$ ).

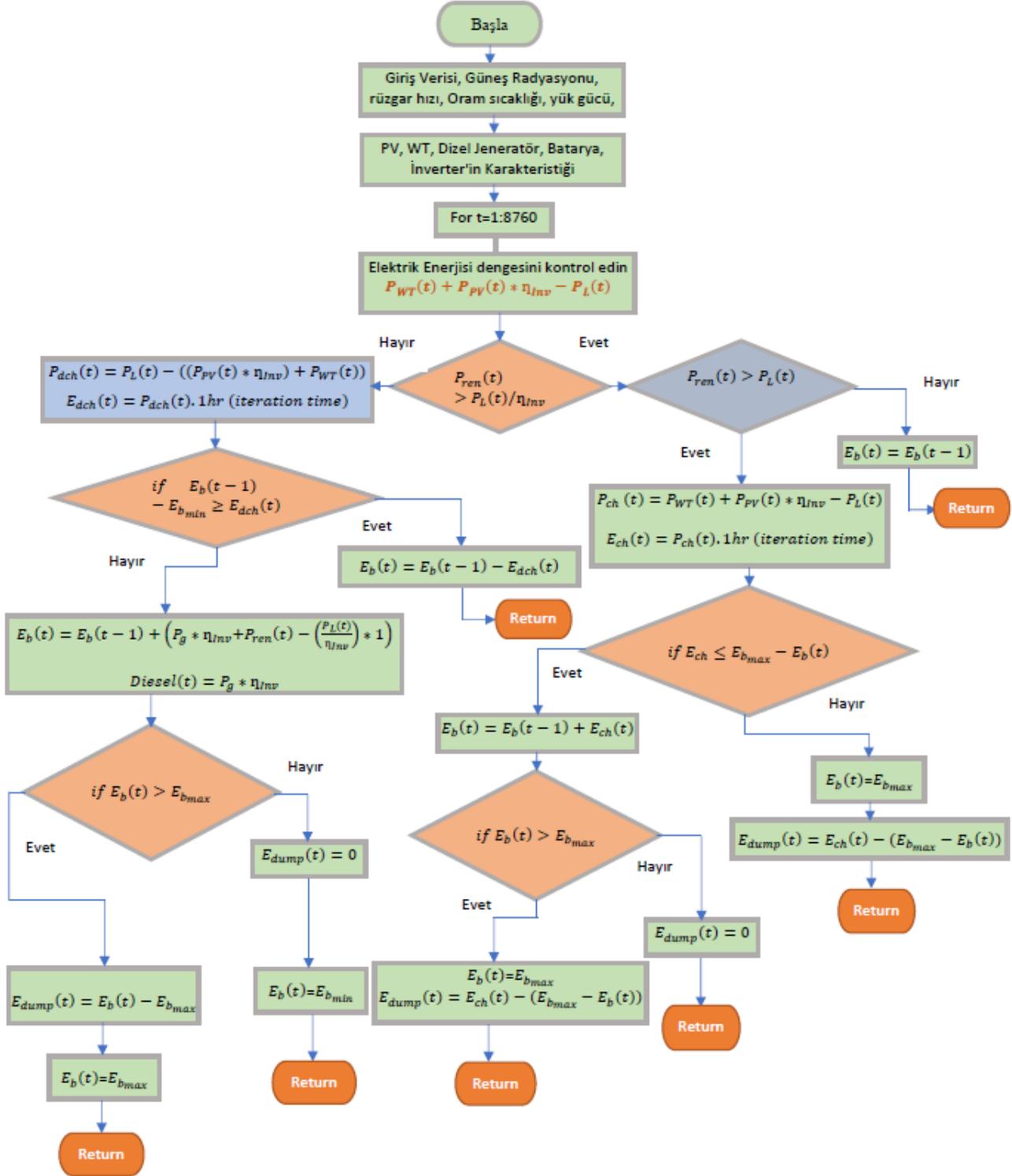
**Durum 3:** Rüzgar ve güneş enerjisi ile üretilen enerji yetersizse, bataryalarda depolanan mevcut enerji yük talebinin karşılanmasına katkıda bulunacaktır. ( $E_{Batt}(t) > E_{Battmin}(t)$ ).

**Durum 4:** Güneş ve rüzgar enerjisi kaynakları tarafından üretilen enerji yük talebini karşılamak için yetersizse ve akü bankalarında enerji yoksa, dizel jeneratör yük talebini karşılamak için devreye girerken, aynı zamanda Batarya bankalarını da şarj edecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları tekrar güç üretmeye başlar başlamaz, dizel jeneratörün çalışması sona erecektir. ( $E_{Batt}(t) < E_{Battmin}(t)$ ).

Şekil (7), üniversite kampüsünde uygulanacak bir enerji yönetim şemasının güç akışı algoritması stratejisini göstermektedir. Bu optimizasyon algoritmasının operasyonel stratejisinde,



dizel jeneratör ve akü bankaları yedek enerji kaynakları olarak hizmet vermektedir. Bu yönetim stratejisinde, girdiler (yük talebi, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi) ilk önce okunur. Yönetim süreci, rüzgar ve güneş enerjisi kaynakları tarafından üretilen toplam enerji miktarının yük talebi ile karşılaştırılmasıyla başlar.



Şekil 7. PV/WT/Dizel/Akü hibrit enerji sisteminin güç yönetimi.

### 3.3. Hibrit Enerji Sisteminin Önerilen Objektif İşlevi

Ortalama sistem maliyeti, hibrit enerji sistemini (ACS) analiz etmek için birincil hedef işlevdir. Buradaki amaç, sistemi mümkün olan en düşük maliyetle güvenilir güç sağlayacak şekilde optimize etmektir. Optimum yapılandırma için üç ana karar faktörü, pil sayısı, WT gücü ve PV gücüdür. Diğer tüm parametrelere ve kısıtlamalara göre, Tekno-Ekonomik analiz için en düşük ACS değerine sahip sonuç optimaldir. Toplam sermaye ve değiştirme maliyetlerinin yanı sıra işletme maliyeti ve bakım maliyeti, burada kullanılan objektif işlevi oluşturur. Kurulum ve inşaat maliyetleri, bileşen sermaye maliyetlerine dahil edilir. ACS, LCOE, TNPC, PV, WT, DG, Batt kapasitesi ve invertör kapasitesi karar değişkenleridir. Denklem (10) ACS'yi tanımlar.

$$OF = Min(ACS) \quad (10)$$

LCOE, TNPC'ye bağımlıdır ve İşletme ve Bakım ve değiştirme maliyetlerini içerir (Mahesh ve Kanwarjit, 2019). Burada PV, WT, Batt ve DG bileşen maliyetleri dikkate alınır. Aşağıdaki denklemler, en aza indirilecek LCOE'nin hesaplanmasına yardımcı olur.

Toplam net cari maliyet değeri Denklemdeki gibi hesaplanabilir (11):

$$TNPC = C_t^{PV} + C_t^{WT} + C_t^{Batt} + C_t^{diesel} + C_C^{Inv} \quad (11)$$

$C_t^{PV}$ ,  $C_t^{WT}$ ,  $C_t^{Batt}$ ,  $C_t^{diesel}$  ve  $C_C^{Inv}$  PV, WT, Batt, DG ve invertörün toplam maliyetleridir.

LCOE, mikro şebeke sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliğini belirlemek için iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Parrado ve ark., 2016). Denklem (12) ile ifade edilir.

$$LCOE (\$/kWh) = \frac{TNPC}{\sum_{t=1}^{8760} P_{load}} \times CRF \quad (12)$$

$P_{load}$  saatte tüketilen güçtür. Denklem (12), sermayenin yıllık maliyetini başlangıç maliyetinden hesaplamak için kullanılır. CRF, sermaye geri kazanım faktörü anlamına gelir.

### 3.5. Yenilenebilir Enerji Fraksiyonu (REF) Hesaplaması

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit sisteme katkısını değerlendirmek için çeşitli endeksler kullanılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımını azaltmak için REF seçilir. HRES

içerisinde dizel bir jeneratör olduğunda, REF değeri Denklem (13) kullanılarak hesaplanabilir (Eriksson ve Gray, 2019).

$$REF(\%) = (1 - P_{DG}/(P_{PV} + P_{WT})) \times 100 \quad (13)$$

### 3.6. Tasarım Değişkenleri

Denklem (14), güneş paneli gücü, rüzgar türbini gücü ve pil sayısı olarak belirlenen karar değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını göstermektedir.

$$\text{Tasarım Değişkenleri} = \begin{cases} 50kW \leq R_{WT} \leq 10000kW \\ 1 kW \leq R_{PV} \leq 10000kW \\ 1 \leq R_{Batt} \leq 1000 \end{cases} \quad (14)$$

Burada,  $R_{WT}$  rüzgar türbini gücü,  $R_{Batt}$  pil sayısı ve  $R_{PV}$  güneş paneli gücüdür. Toplam değişken sayısı ve arama alanının karmaşıklığı nedeniyle, optimizasyon karar değişkenlerinin sınır değerlerinin belirlenmesi büyük ölçüde soruna bağlıdır. Bu değerler genellikle deneme yanılma ile belirlenmiş olmasına rağmen, bu çalışmanın simülasyonunda HOMER yazılımı kullanılarak sınır değerler ortaya konmuştur. Sonuç olarak, Denklem (14)'deki değerler, MATLAB algoritmalarının mümkün olan en kısa sürede en iyi çözüme yaklaşmasını sağlamak için kullanılmıştır.

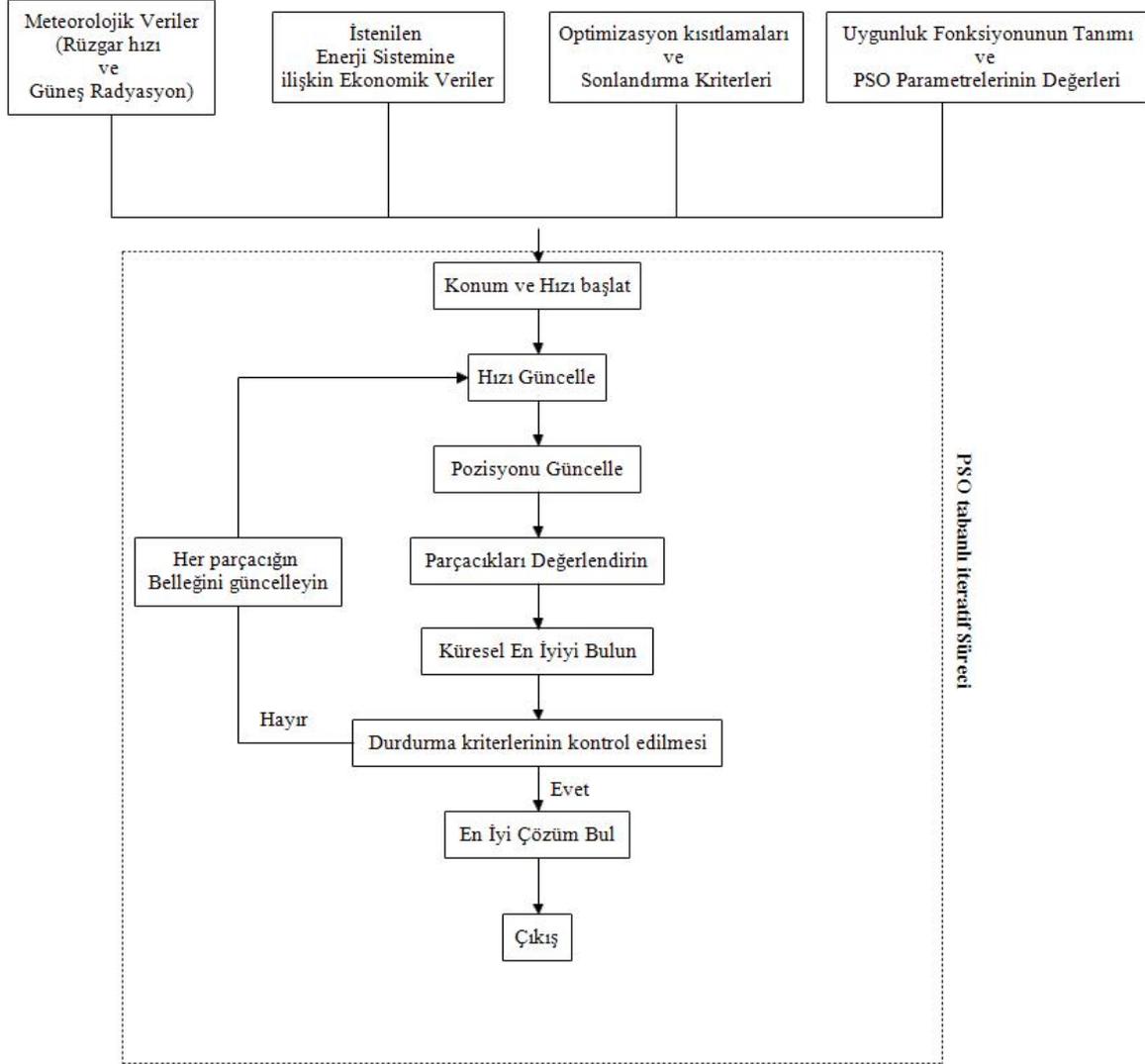
### 3.7. Simülasyon ve Optimizasyon Teknikleri

Bu bölümde, PV/WT/DG/Batt hibrit enerji sistemini boyutlandırmak için kullanılan simülasyon ve optimizasyon yaklaşımı tartışılmaktadır. İlk alt bölüm HOMER yazılım simülasyonunu, ardından PSO, GA ve GWO algoritmalarını açıklar.

#### 3.7.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

1995 yılında Eberhardt ve Kennedy, küresel optimizasyon tekniğine bağlı olarak, doğadan ilham alan ve kuş sürülerinin davranışlarının yönlerine göre geliştirilen stokastik, popülasyon tabanlı PSO algoritmasını önermiştir (Mohammed e t al., 2019). Karmaşık problemlerle etkili bir şekilde başa çıkabilen basit bir model elde etmek için PSO, bireylerin deneyimlerinin ve grup olarak çalışırken öğrenilen deneyimlerin birleştirilmesine izin verdi. PSO yönteminin orijinal formu, konumların yerel ve küresel en iyi pozisyonları içeren bir hız vektörü aracılığıyla güncellendiği rastgele başlatılan bir popülasyonla başlar. Yerel en iyi çözüm, parçacığın yaşadığı en iyi uyum

değerine sahip çözümü ifade eder. Küresel olarak en iyi çözüm, parçacıkların sürüde toplanmasıyla bulunan en uygun değeri gösteren çözümü ifade eder. PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 8'de sunulmuştur.

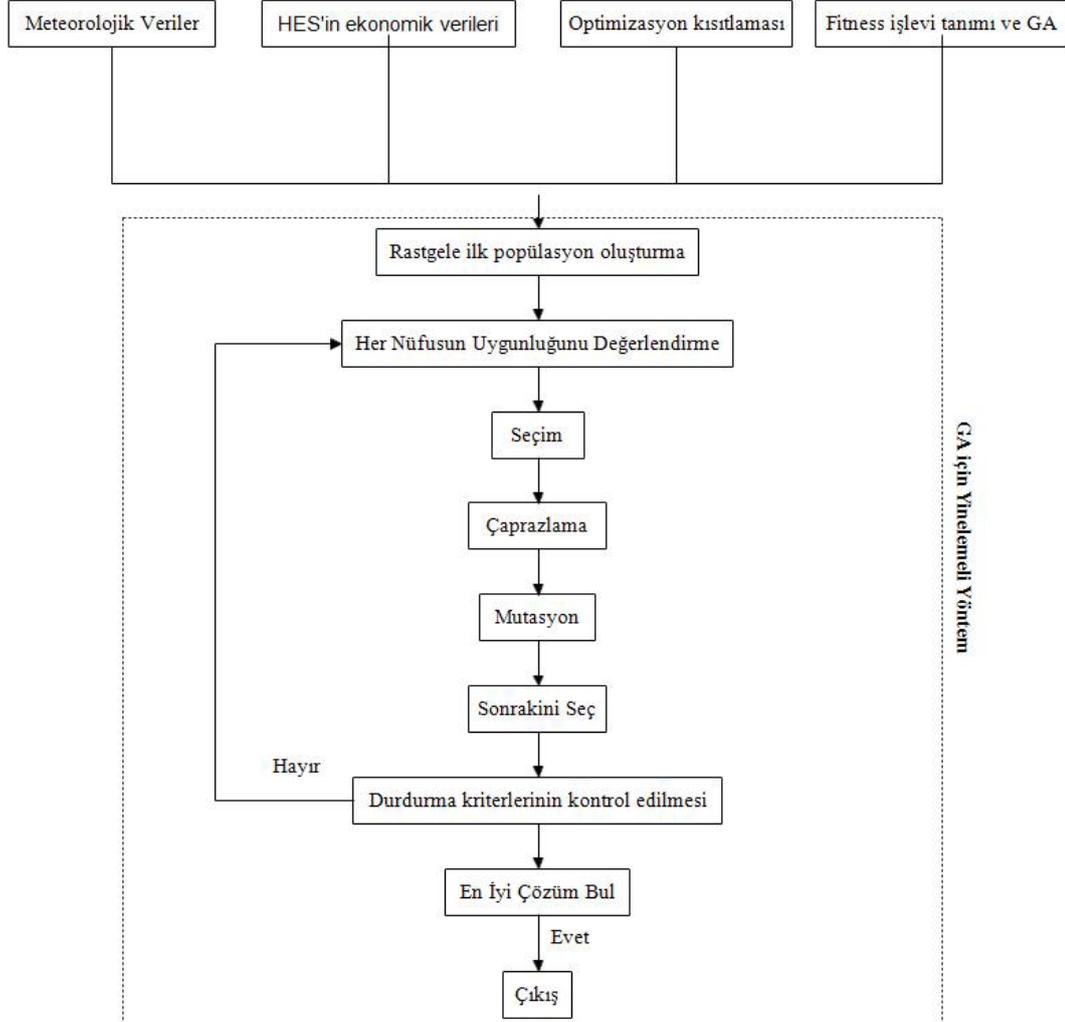


Şekil 8. PSO algoritması akış diyagramı.

### 3.7.2. Genetik Algoritma (GA)

GA, doğal seçilimi taklit eden problemleri çözmek için evrimsel bir tekniktir ve 1970 yılında Hollanda'da John Holland tarafından yaratılmıştır. Genetik, mutasyon, crossover ve seleksiyon gibi biyolojik evrimden ilham alan yöntemleri kullanarak problem optimizasyonu için çözümler üretir. Genetik algoritmaların metodolojisinde, GA, "uygunluk fonksiyonu" adı verilen objektif bir fonksiyonu en aza indirmeyi veya en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Fitness fonksiyonunu optimize etmek için, kromozom verileri farklı şekillerde üretilir. Bu süreçte seleksiyon, crossover, mutasyon ve farklı fonksiyonlar kullanılabilir. Bundan sonra, olasılıksal yöntemler kullanılarak en

iyi fitness fonksiyonu sonucu seçilir. Bu olasılıksal metodolojide, uygunluk fonksiyonunun hesaplama süresi geleneksel arama algoritmalarından daha kısadır. GA, problemleri birden fazla çözümlerle çözebildiği, kolayca anlaşılabilir olduğu ve mevcut simülasyon ve modellere geçişin kolay olduğu için birçok fayda sağlamaktadır (Bala ve Siddique, 2009). GA'nın akış diyagramı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. GA algoritması akış diyagramı.

### 3.7.3 Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) Algoritması

GWO, gri kurtların avlanma ve sosyal davranışlarını taklit ederek önerildi. Sosyal hiyerarşileri göz önüne alındığında, büyümüş kurt bireyleri alfa, beta, delta ve omega olarak adlandırılır. Alfa grubu, kurt sürüsü kurallarına uyduğu için baskın bir gruptur. Beta grubu, alfa grubuna yardım eden ikincil kurtları ifade eder. Omega, en düşük derecedeki gri kurtları ifade eder. Bir kurt yukarıda belirtilen herhangi bir gruba ait değilse, delta olarak adlandırılır. Grup avı süreci sadece kurtlar arasındaki sosyal bir etkileşim değil, aynı zamanda gri kurtların çarpıcı bir sosyal aktivitesidir.

GWO'nun birincil kısımları av aramak, avı kuşatmak ve avına saldırmaktır (Mirjalili ve ark., 2014). GWO'nun akış diyagramı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. GWO algoritması akış diyagramı.

### 3.7.4. HOMER Simülasyonu

Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu anlamına gelen HOMER yazılımı, boyutlandırma ve optimizasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılım, farklı boyutlardaki çeşitli RE konfigürasyonları için bir ön fizibilite testinin yürütülmesini ve istenen enerji sistemleri için çeşitli konfigürasyon ve hassasiyet analizlerinin yapılmasını kolaylaştırır. HOMER ile elde edilen simülasyon sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Burada elde edilen optimizasyon bulgularına göre, yük talebi, üç uygun senaryodan biri olan Senaryo 1 PV/Akü hibrit enerji sistemi ile tüm yıl boyunca karşılanabilmektedir. 5.526 kW'lık bir güneş paneli, 50 kW'lık rüzgar türbini, 619 pil ve 739 kW'lık bir dönüştürücü kullanarak, LCOE 0.295 \$, NPC 9.56 milyon \$ ve REF% 100 olarak hesaplanır.

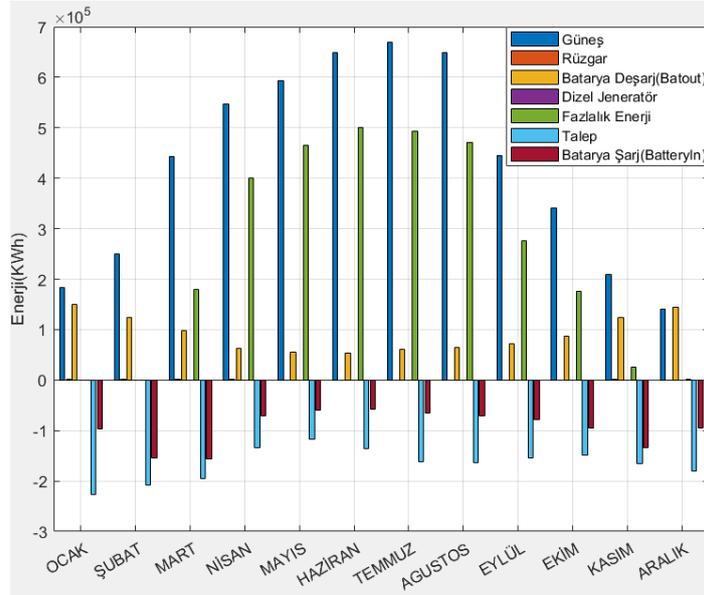
**Tablo 3.** Önerilen HRES'in optimizasyon sonuçları.

	PV (kW)	WT (kW)	Yapı		Dönüştürücü (kW)	NPC (\$)	Maliyet		Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)
			DG (kW)	Batt (Miktar)			LCOE (\$)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)		
Senaryo1	5,526	50	-	619	739	9.56x10 <sup>6</sup>	0.295	337,173	4.08M	100
Senaryo2	8,728	-	890	203	973	37.0 x10 <sup>6</sup>	1.14	1.89M	6.23M	98.0
Senaryo3	8,438	174	890	206	882	37.3 x10 <sup>6</sup>	1.15	1.91M	6.37M	98

#### 4. Bulgular ve Tartışma

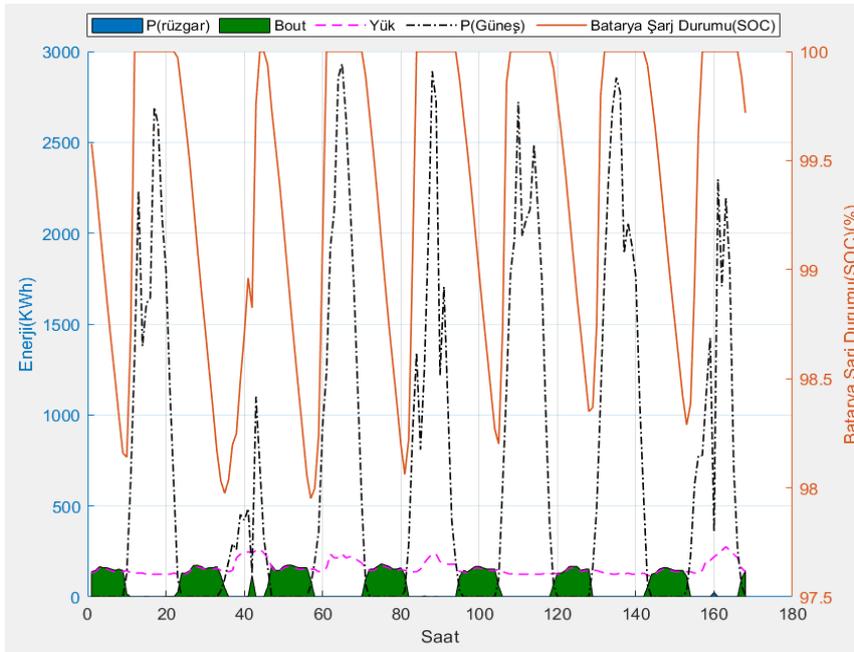
Bu çalışmada literatürde bilinen GA, GWO ve PSO algoritmaları kullanılarak enerji sisteminin yıllık maliyetinin en düşük değere indirilmesine yardımcı olunmaktadır. Çalışmada hibrit enerji sistemini oluşturan bileşenler göz önüne alındığında, çeşitli kısıtlamalar altında kampüs elektrik ihtiyacını güvenilir bir şekilde karşılamaktadır. Öncelikle MATLAB ortamı kullanılarak optimizasyon sürecine başlanır ve performans açısından bu 3 algoritma birbirleri ile karşılaştırılır. Sistemi oluşturan tüm bileşenlerin teknik ve ekonomik değerleri de optimizasyon sürecine dahil edilir.

Şekil 11 , hibrit enerji sisteminin 8760 saat üzerindeki ortalama aylık enerji dengesini göstermektedir. Bakıldığında sistemin güneş ve rüzgar enerjisinden aldığı gücün mevcut güneş ve rüzgar kaynaklarına karşılık geldiği ortaya çıkmaktadır. Ocak ve Aralık aylarında güneş panellerinden daha az güç üretildiği için gerekli yük talebi batarya bankaları tarafından karşılanmaktadır. Kalan aylarda, çok daha iyi doğal kaynaklar nedeniyle daha fazla güneş enerjisi üretildi. Bununla birlikte, yaz aylarında, pil bankasının kullanımı azaltıldı ve bu da pillerden daha az güç çekilmesine neden olur. Fazla üretilen enerjiyi grafikte görmek mümkündür. Üretilen bu 2.9861 x10<sup>6</sup> kWh fazla enerji kampüs içindeki sulama sistemlerinde kullanılabilen veya istenildiğinde şebekeye satılabilmektedir.



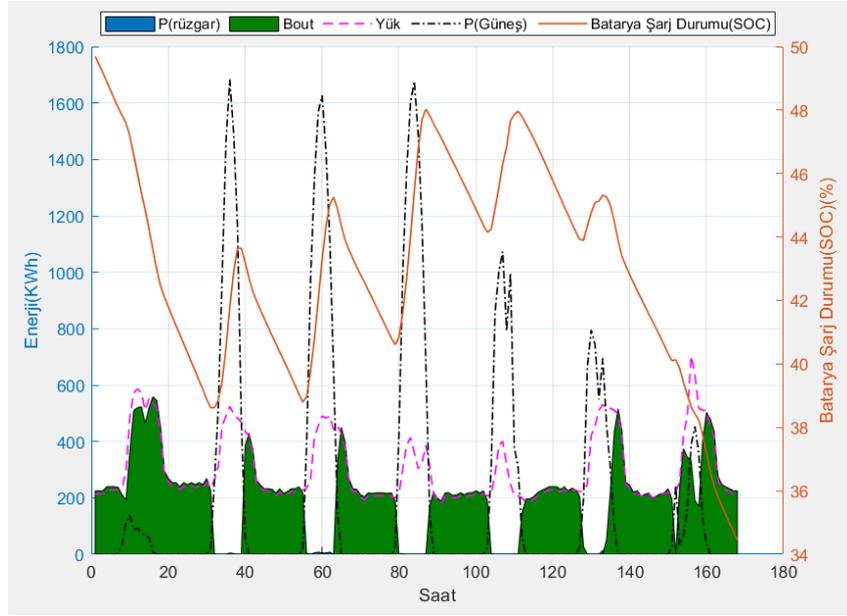
Şekil 11. Farklı HES bileşenlerinden elde edilen enerjinin payı.

Önerilen hibrit enerji sisteminin 8760 saat boyunca en iyi şekilde çalıştığını doğrulamak için toplam 2 hafta seçilir. Sırasıyla Şekil 12 (a) ve Şekil 12 (b), yük talebinin en düşük olduğu Mayıs ayının 3. haftası ve yük talebinin en yüksek olduğu Ocak ayının 2. haftası için optimizasyon sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar, Ocak ayında güneş kaynaklarından elde edilen enerjinin diğer aylara göre daha düşük olması nedeniyle bataryanın SOCmin değerine yaklaştığını ve yüksek güneş enerjisi üretimi ile Mayıs ayında SOCmax değerine yaklaştığını göstermektedir.



(a)





(b)

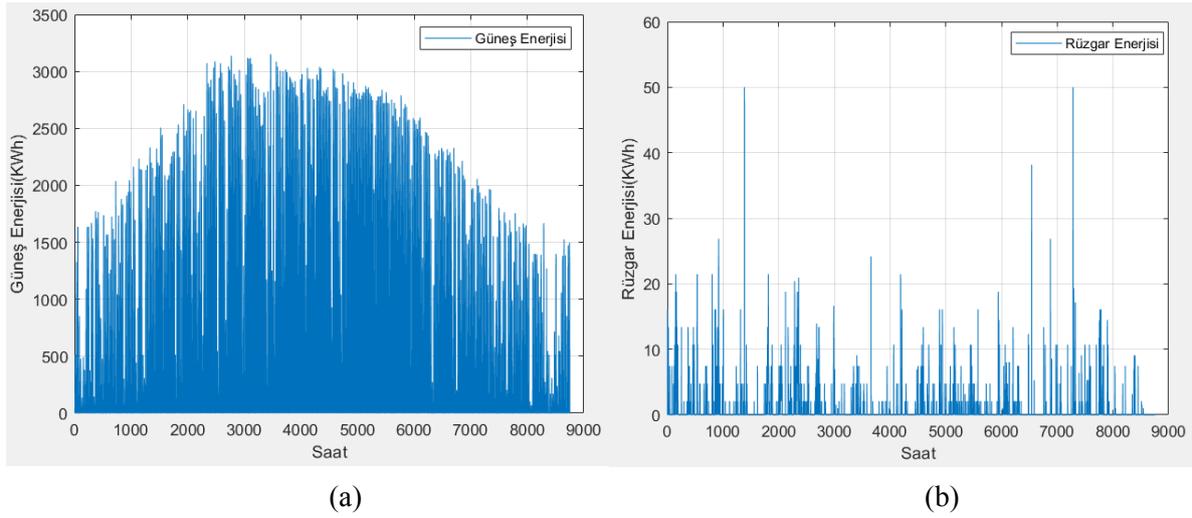
Şekil 12. HRES Enerji dengesi analizi (a) Mayıs ayının 3. haftası, (b) Ocak ayının 2. haftası.

Tablo 4. PSO, GA, GWO algoritmaları kullanılarak elde edilen optimum HRES boyutlandırması ve maliyeti.

	PSO	GA	GWO
Yürütme süresi (sn)	11.9640	21.5158	175.6752
Rüzgar Türbinleri (kW)	50	50	50
Güneş Enerjisi (kW)	$3.713656 \times 10^3$	$3.407975 \times 10^3$	$3.666700 \times 10^3$
Akü Üniteleri	779.5431	951.5493	800
Toplam Rüzgar Enerjisi (kWh)	$6.2787 \times 10^3$	$6.2787 \times 10^3$	$6.2787 \times 10^3$
Toplam Güneş Enerjisi (kWh)	$5.5779 \times 10^6$	$5.1188 \times 10^6$	$5.5074 \times 10^6$
Toplam Diesel Jeneratör Enerji Üretimi (kWh)	0	0	0
Aşırı Enerji (kWh)	$3.4341 \times 10^6$	$2.9861 \times 10^6$	$3.3653 \times 10^6$
Toplam Yük Talebi (kWh)	$1.9921 \times 10^6$	$1.9921 \times 10^6$	$1.9921 \times 10^6$
Toplam Gaz Emisyonu (TGE)	0	0	0
Batarya Şarj Enerjisi (kWh)	$1.1405 \times 10^6$	$1.1384 \times 10^6$	$1.1401 \times 10^6$
Batarya Deşarj Enerjisi (kWh)	$1.0868 \times 10^6$	$1.0958 \times 10^6$	$1.0881 \times 10^6$
Seviyelendirilmiş Birim Enerji Maliyeti(LCOE) (\$/kWh)	0.2075	0.1998	0.2061
Toplam Net Bugünkü Maliyet(TNPC) (\$)	$6.7053 \times 10^6$	$6.4580 \times 10^6$	$6.6604 \times 10^6$
Yenilenebilir Enerji Fraksiyonu(REF) (%)	100	100	100
Yıllık Maliyet (\$)	$4.1331 \times 10^5$	$3.9808 \times 10^5$	$4.1055 \times 10^5$
Rüzgar Maliyeti (\$)	$3.2880 \times 10^5$	$3.2880 \times 10^5$	$3.2880 \times 10^5$
Güneş Enerjisi Maliyeti (\$)	$5.4296 \times 10^6$	$4.9827 \times 10^6$	$5.3610 \times 10^6$
Diesel Jeneratör Maliyeti (\$)	0	0	0
Akü Bankası Maliyeti (\$)	$9.0468 \times 10^5$	$1.1043 \times 10^6$	$9.2842 \times 10^5$
Dönüştürücü Maliyeti (\$)	$4.2148 \times 10^4$	$4.2148 \times 10^4$	$4.2148 \times 10^4$

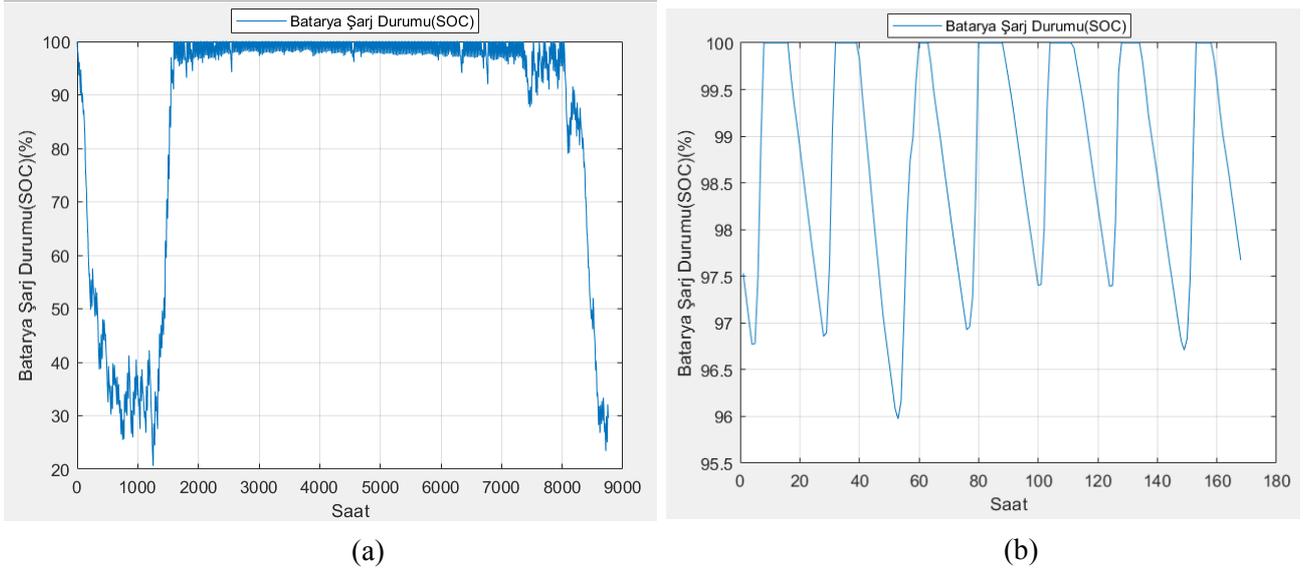
Sistemin optimizasyonu sonucunda elde edilen algoritmaların sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Algoritmaların performanslarını karşılaştırmak için birçok teknik ve ekonomik hesaplama yapılmıştır. Değerlendirme bu sonuçlara göre yapılır.

GA, PSO ve GWO algoritmaları, şebekeden bağımsız olarak seçilen güç sisteminin optimum boyutunu doğrulamak için programlanır ve optimize edilir. Sonuçlar, önerilen GA ile elde edilenlerle karşılaştırılır ve algoritmaların yakınsama özellikleri incelenir. Şekil 18'de sistemin belirlenen objektif fonksiyonu olan ACS değerinin yineleme işlemi sırasında azaldığı görülmektedir. Yakınsama süreçlerinin ayrıntılı analizi, GA'nın optimizasyon süreci boyunca çok hızlı davrandığını ve böylece hesaplama sürelerini ve kaynak kullanımını azalttığını göstermektedir. Benzer şekilde, karşılaştırıldığında, GWO, PSO algoritmasından daha iyi performans gösterir. Tablo 4'teki sonuçtan da görülebileceği üzere GA, tüm algoritmalar arasında en düşük maliyetle hedef çözüme ulaşmakta ve PSO'dan daha iyi sonuçlar vermektedir. LCOE, GA ile 0.1998\$, GWO ile 0.2061\$ ve PSO ile 0.2075\$ olarak, ACS değeri, GA ile  $3.9808 \times 10^4$ \$, PSO ile  $4.1331 \times 10^5$ \$ ve GWO ile  $4.1055 \times 10^5$ \$ hesaplanmıştır. Optimizasyon sonucunda GA algoritması ile,  $3.407975 \times 10^3$  kW güneş paneli, 50 kW rüzgar türbini ve 951.5493 kW'lık Batarya elde edilmiştir. Bu nedenle, burada geliştirilen GA-tabanlı optimizasyon süreci, daha karmaşık mikro şebeke tasarım problemlerinde başarıyla kullanılabilir. Güneş ve rüzgar kaynaklarından çıkış güçleri Şekil 13 (a) ve (b)'de verilmiştir.



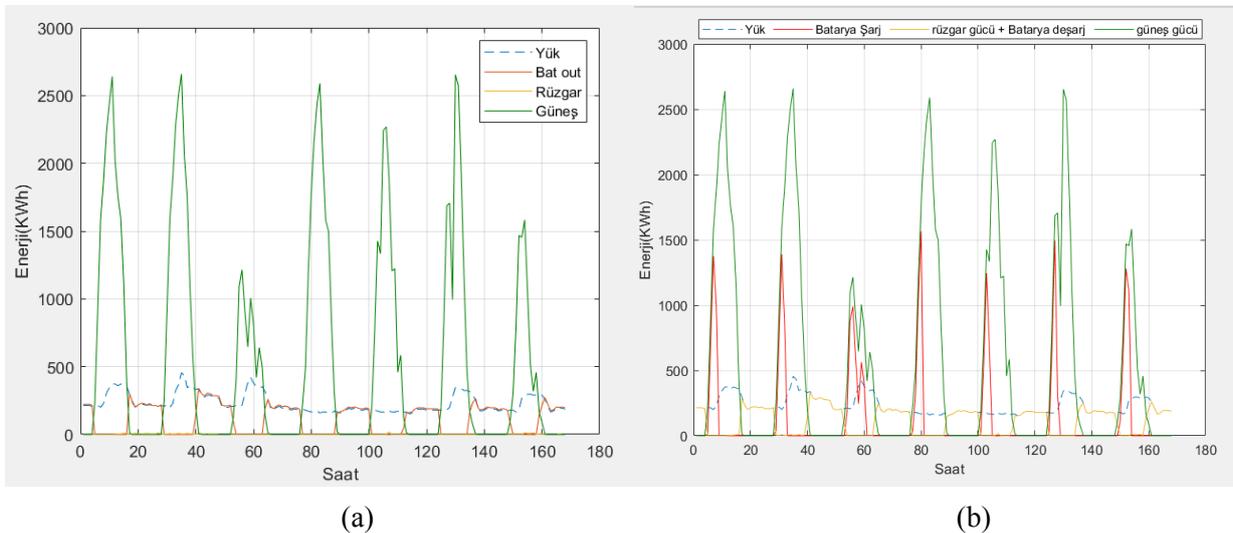
Şekil 13. (a) PV dizisi tarafından üretilen güç. (b) WT tarafından üretilen güç.

Şekil 14 (a) ve (b), pil bankalarının yıllık ve haftalık şarj durumunu göstermektedir. Burada, pillerin minimum ve maksimum şarj değerlerine ulaştığı zaman aralıkları hakkında bilgi elde edilir. Başlangıç SOC seviyesi ve izin verilen minimum SOC, sırasıyla % 100 ve % 20 olarak kabul edildi. Şekil 14 (a), pil SOC'sinin her zaman önceden tanımlanmış sınırdan kaldığını göstermektedir. Akünün şarj ve deşarj değerleri de sürekli izlenmesi gereken diğer konulardır.

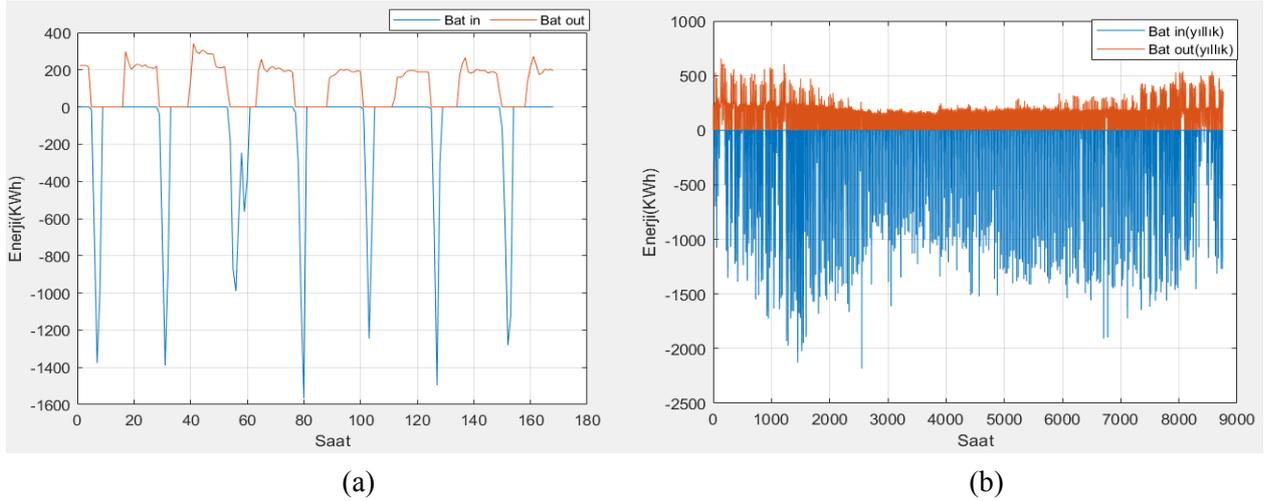


Şekil 14. Batarya şarj profilinin durumu (a) yıl boyunca (b) hafta boyunca.

Şekil 15 (a) ve (b) hangi kaynakların yük talebini ve kapsama oranlarını karşıladığını göstermektedir. Buna göre, bu enerji yönetimi stratejisinde, yük talebi öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları talep edilen yükü karşılayamıyorsa ve akü bankası gerekli ek yükü karşılayacak kapasiteye sahipse, akü bankası boşalır. Son senaryoda yenilenebilir enerji kaynakları ve batarya bankası talep edilen yükü karşılayamadığında dizel jeneratör devreye girer ve enerji açığı kapatılır. Şekil 15(b)'de yeterli güneş enerjisi olduğunda, üretilen ekstra enerji ile şarj edildiği görülmektedir. Sırasıyla Şekil 16 (a) ve (b) haftalık ve yıllık pil bankası şarj-deşarj bilgilerini göstermektedir. Grafikte, "Batt\_out", akü bankasının enerji deşarjı veya akü depolama sistemi tarafından yüke beslenen enerjidir, oysa "Batt\_in", yük talebi karşılandıktan sonra akü depolama sistemine beslenen akü şarjı veya ekstra yenilenebilir enerjidir.

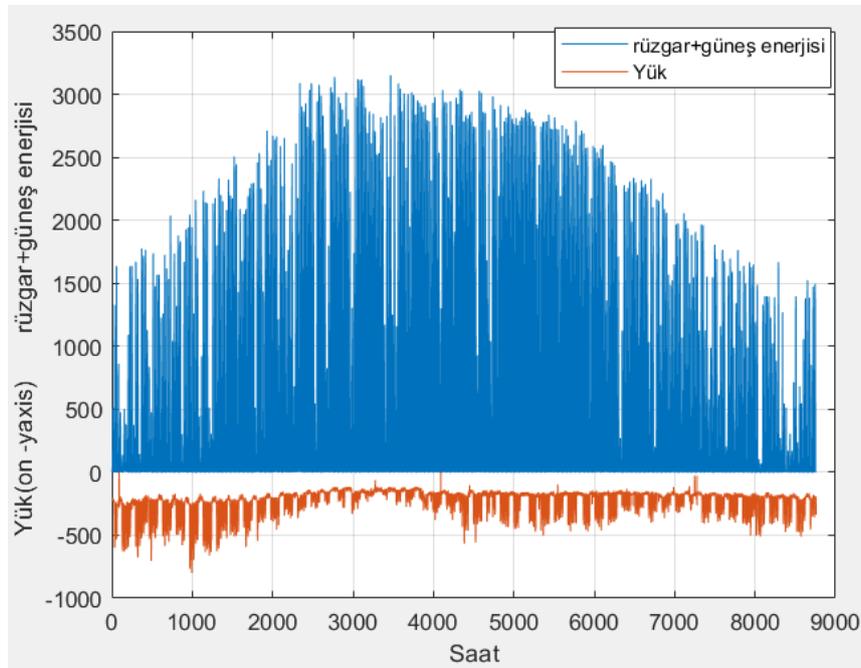


Şekil 15. Hibrit enerji sisteminin toplam yük talebi ve enerji kaynaklarının karşılaştırma profili.



Şekil 16. Pil giriş ve çıkış enerji değeri (a) haftalık (b) yıllık.

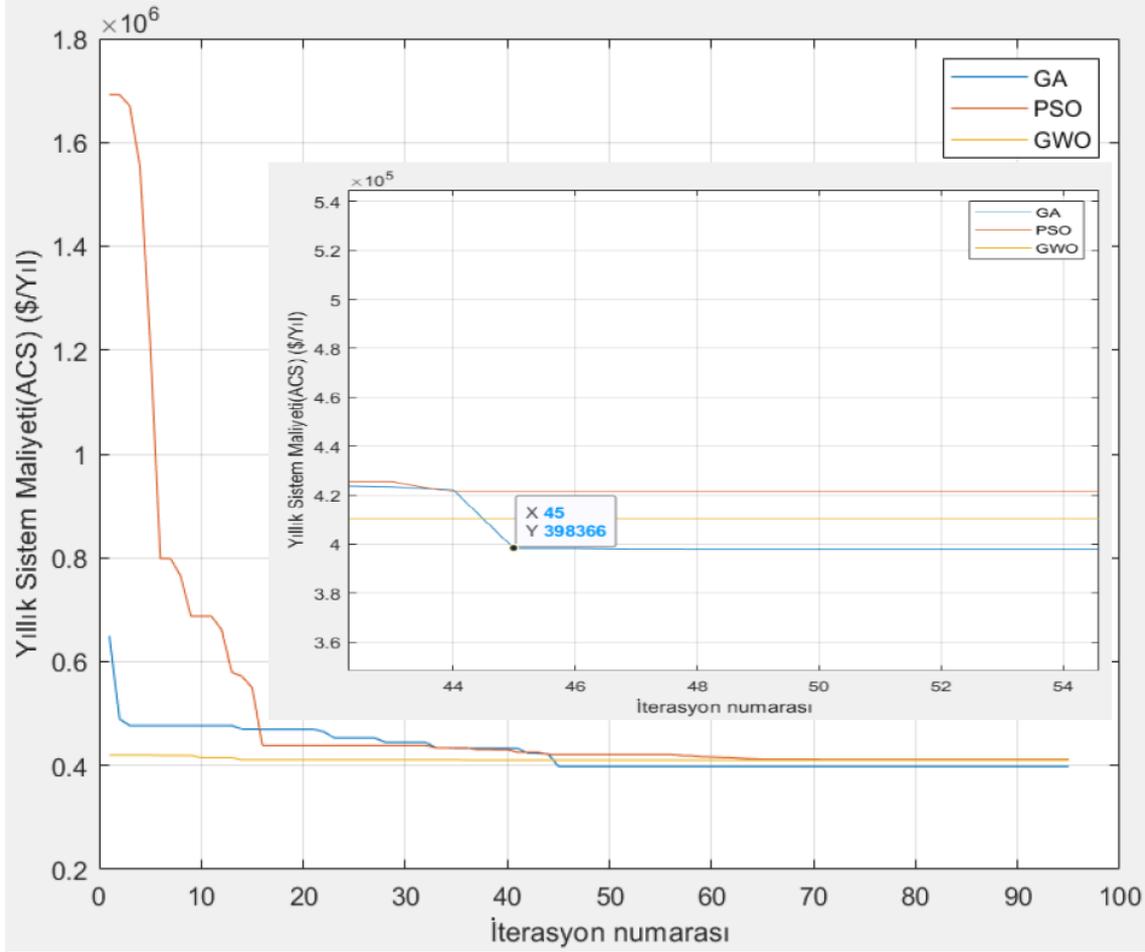
Şekil 17 (a)'dan hibrit enerji sisteminin yük talebinin yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanıp karşılanmadığı görülebilir. Bu grafikte yüke gelen enerjinin büyük bir kısmının yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılandığı açıkça görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ve batarya bankası talep edilen yükü karşılamak için yeterli olmadığında, DG yüke farklı miktarlarda güç sağlayacaktır. Bu enerji sisteminde, yük talebi yıl boyunca yenilenebilir enerji ve batarya depolama sistemleri tarafından karşılandığı için DG asla devreye girmez.



Şekil 17. Üretilen yenilenebilir enerjinin yük talebi ile karşılaştırılması.

Algoritmaların simülasyon sürecinde en optimal çözüme nasıl yaklaştığına dair bilgiler Şekil 18'de verilmiştir. Bu grafiğin yapısı ve eğimi, algoritmaların yinelemelere karşı en uygun çözüme yaklaşımını temsil eder. Tüm algoritmaların hesaplamaları çok kısa sürede yaptığı ve en ideal çözümü

bulduğu görülmektedir. Birbiriyle karşılaştırıldığında GA algoritmasının 45. Yinelemeden sonra en ekonomik çözümü elde ettiği söylenebilir.



Şekil 18. GWO, GA ve PSO algoritmaları için yakınsama oranlarının karşılaştırılması.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sisteminin boyutlandırma optimizasyonu için kullanıldığında PSO, GA ve GWO algoritmalarının performanslarını karşılaştırmaktadır. Optimizasyon probleminin temel amacı, şebekeden bağımsız bir üniversite merkez kampüsünün yük talebini karşılamak, sistemin toplam yıllık maliyetini en aza indirmek ve optimum güneş paneli gücünü, rüzgar türbini gücünü ve batarya sayısını belirlemektir. Simülasyon, 2020 yılının saatlik yük talep değerleri ve 8760 saatte elde edilen rüzgar hızı, ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu verileri kullanılarak gerçekleştirilir. Sonuçlar, GWO algoritmasının küresel optimum değere hızla yaklaşma eğiliminde olduğunu gösterir. GA algoritması uygulandığında, ACS  $3.9808 \times 10^5$  \$, LCOE 0.1998\$, TNPC  $6.4580 \times 10^6$  \$ ve REF 100% olarak hesaplanır. GWO ile, ACS  $4.1050 \times 10^5$  \$, LCOE 0.2061\$, TNPC  $6.6604 \times 10^6$  \$ ve PSO ile ACS  $4.1331 \times 10^5$  \$, 0.2075\$ ve  $6.7053 \times 10^6$  \$ olarak elde edilir. Burada görülebilen şey, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sisteminin maliyetini azaltma sürecinde,

GA'nın GWO ve PSO'dan çok daha hızlı hesaplama yaptığıdır. Sunulan bu çalışma, şebeke dışı hibrit yenilenebilir enerji projelerinin desteklenmesinde ve optimizasyon problemlerinin çözümünde önemli bir destek aracı olarak kullanılabilir.

### Yazarların Katkısı

Aykut Fatih GÜVEN: Veri iyileştirme, metodoloji, yazılım, doğrulama, düzenleme, yazma ve gözden geçirme.

Nuran YÖRÜKEREN: Kavramsallaştırma, denetleme, doğrulama, inceleme ve düzenleme.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Referanslar

- Ahmadi, S., Abdi, S., (2016). Application of the Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Optimal Sizing of a Stand-Alone Hybrid PV/Wind/Battery System. *Solar Energy*, 134: 366–374.
- Alturki, F.A., Al-Shamma'a, A.A., Farh, H.M.H., AlSharabi, K., (2021). Optimal Sizing of Autonomous Hybrid Energy System Using Supply-Demand-Based Optimization Algorithm. *International Journal of Energy Research*, 45(1): 605–625.
- Bala, B.K., Siddique., S.A., (2009). Optimal Design of a PV-Diesel Hybrid System for Electrification of an Isolated Island-Sandwip in Bangladesh Using Genetic Algorithm. *Energy for Sustainable Development*, 13(3):137–142.
- Bukar, A.L., Tan, C.W., Lau, K.Y., (2019). Optimal Sizing of an Autonomous Photovoltaic/Wind/Battery /Diesel Generator Microgrid Using Grasshopper Optimization Algorithm. *Solar Energy*, 188: 685–696.
- Chen, L., Wang, S., Yousefi, N., (2021). An optimal arrangement for photovoltaic/diesel/battery management system applying Crow Search Algorithm: a case of Namib Desert. *Int. J. Ambient Energy*.
- Chen, Y., Wang, R., Ming, M., Cheng, S., Bao, Y., Zhang, W., Zhang, D., (2021). Constraint Multi-Objective Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System Considering Load Characteristics. *Complex & Intelligent Systems*, 8: 803-817.
- Eriksson, E.L.V., Gray, E.M., (2019). Optimization of Renewable Hybrid Energy Systems—A Multi-Objective Approach. *Renewable Energy*, 133:971–999.
- Fathy, A., Kaaniche, K., Alanazi, T.M., (2020). Recent Approach Based Social Spider Optimizer for Optimal Sizing of Hybrid PV/Wind/Battery/Diesel Integrated Microgrid in Aljouf Region. *IEEE Access*, 8: 57630–57645.
- Geleta, D.K., Manshahia, M.S., (2020). Gravitational Search Algorithm-Based Optimization of Hybrid Wind and Solar Renewable Energy System. *Computational Intelligence*, 38: 1106–1132.
- Geleta, D.K., Manshahia, M.S., Vasant, P., Banik, A., (2020). Grey Wolf Optimizer for Optimal Sizing of Hybrid Wind and Solar Renewable Energy System. *Computational Intelligence*, 38: 1133-1162.

- Ghenai, C., Salameh, T., Merabet, A., (2020). Technico-Economic Analysis of off Grid Solar PV/Fuel Cell Energy System for Residential Community in Desert Region. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(20): 11460–11470.
- He, L., Zhang, S., Chen, Y., Ren, L., Li, J., (2018). Techno-Economic Potential of a Renewable Energy-Based Microgrid System for a Sustainable Large-Scale Residential Community in Beijing, China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93: 631–641.
- Hermann, D.T., Talla Konchou, F.A., René, T., Donatien, N., (2022). Consideration of some optimization techniques to design a hybrid energy system for a building in Cameroon. *Energy and Built Environment*, 3(2): 233-249.
- Kaabeche, A., Belhamel, M., Ibtouen, R., (2011). Techno-Economic Valuation and Optimization of Integrated Photovoltaic/Wind Energy Conversion System. *Solar Energy*, 85(10): 2407–2420.
- Mahesh, A., and Kanwarjit, S.S., (2019). Optimal Sizing of a Grid-Connected PV/Wind/Battery System Using Particle Swarm Optimization. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering*, 43(1): 107–121.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., Lewis, A., (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69:46–61.
- Mohammed, O.H., Amirat, Y., Benbouzid, M., (2019). Particle Swarm Optimization Of a Hybrid Wind/Tidal/PV/Battery Energy System. Application To a Remote Area In Bretagne, France. *Energy Procedia*, 162:87–96.
- Mokhtara, C., Negrou, B., Settou, N., Settou, B., Samy, M.M., (2021). Design Optimization of Off-Grid Hybrid Renewable Energy Systems Considering the Effects of Building Energy Performance and Climate Change: Case Study of Algeria. *Energy*, 219: 1-18.
- Parrado, C., Girard, A., Simon, F., Fuentealba, E., (2016). 2050 LCOE (Levelized Cost of Energy) Projection for a Hybrid PV (Photovoltaic)-CSP (Concentrated Solar Power) Plant in the Atacama Desert, Chile. *Energy*, 94: 422–430.
- Ramli, M.A.M., Boucekara, H.R.E.H., Alghamdi, A.S., (2018). Optimal Sizing of PV/Wind/Diesel Hybrid Microgrid System Using Multi-Objective Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm. *Renewable Energy*, 121: 400–411.
- Roslan, M.F., Hannan, M.A., Ker, P.J., Begum, R.A., Indra Mahlia, T.M., Dong, Z.Y., (2021). Scheduling Controller for Microgrids Energy Management System Using Optimization Algorithm in Achieving Cost Saving and Emission Reduction. *Applied Energy*, 292: 1-16.
- Saheb-Koussa, D., Koussa, M., (2016). GHGs (Greenhouse Gases) Emission and Economic Analysis of a GCRES (Grid-Connected Renewable Energy System) in the Arid Region, Algeria. *Energy*, 102: 216–230.
- Shivaie, M., Mokhayeri, M., Kiani-Moghaddam, M., Ashouri-Zadeh, A., (2019). A Reliability-Constrained Cost-Effective Model for Optimal Sizing of an Autonomous Hybrid Solar/Wind/Diesel/Battery Energy System by a Modified Discrete Bat Search Algorithm. *Solar Energy*, 189: 344–356.
- Singh, P., Pandit M., Srivastava L., (2020). Comparison of Traditional and Swarm Intelligence Based Techniques for Optimization of Hybrid Renewable Energy System. *Renewable Energy Focus*, 35: 1–9.
- Talla Konchou, F.A., Temene, H.D., Tchinda R., Njomo D., (2021). Techno-Economic and Environmental Design of an Optimal Hybrid Energy System for a Community Multimedia Centre in Cameroon. *SN Applied Sciences*, 3(1): 1-12.
- Voloshin, R.A., Rodionova, M.V., Zharmukhamedov, S.K., Veziroglu, T.N., Allakhverdiev, S.I., (2016). Review: Biofuel Production from Plant and Algal Biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(39): 17257–17273.
- Zhu, W., Guo, J., Zhao, G., (2021). Multi-objective sizing optimization of hybrid renewable energy microgrid in a stand-alone marine context. *Electronics*, 10:1–24.

## Chemical and Physicochemical Contents and Bioactivity of Black Garlic

Cengiz ÇORBACI<sup>1\*</sup>

### Abstract

Black garlic is a garlic product that has been in great demand recently because it has a fruit-like taste and is easy to eat. In this article, it is aimed to obtain black garlic samples using fresh Taşköprü (Kastamonu) garlic and to determine the chemical, physicochemical and biological properties of these samples. Compared to fresh garlic, black garlic samples had significantly increased browning intensity, total acidity, reducing sugar content, total protein, crude oil, ash, and crude fiber in contrast to moisture content and pH value. The total flavonoid and phenolic acid contents of the samples varied based on the aging period and the extract used, but significant increases in the scavenging activities of the samples were obtained with the aging period. No increase in the antimicrobial capacity of the samples was observed. In summary, the biological, chemical, and physicochemical properties of garlic changed during the aging period, with a particularly marked increase in antioxidant capacity.

**Keywords:** Black garlic, antimicrobial, antioxidant, chemical, physicochemical

## Siyah Sarımsağın Kimyasal ve Fizikokimyasal İçerikleri ve Biyoaktivitesi

### Öz

Siyah sarımsak, meyvemsi bir tada sahip olması ve kolay tüketilebilmesi nedeniyle son zamanlarda büyük talep gören bir sarımsak ürünüdür. Bu makalede, taze Taşköprü (Kastamonu) sarımsağı kullanılarak siyah sarımsak örneklerinin elde edilmesi ve bu örneklerin kimyasal, fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Taze sarımsak ile karşılaştırıldığında siyah sarımsak örneklerinin nem içeriği ve pH değeri azalma gösterirken esmerleşme yoğunluğu, toplam asitlik, indirgen şeker içeriği, toplam protein, ham yağ, kül ve ham lif miktarları önemli ölçüde artmıştır. Örneklerin toplam flavonoid ve fenolik asit içerikleri, olgunlaşma periyoduna ve kullanılan özüte bağlı olarak değişmiştir, ancak olgunlaşma periyodu ile örneklerin radikal süpürme aktivitelerinde kayda değer artışlar elde edilmiştir. Örneklerin antimikrobiyal kapasitesinde ise herhangi bir artış gözlenmemiştir. Özetle, olgunlaşma periyodu ile birlikte sarımsağın biyolojik, kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerinde değişimler meydana gelmiş ve özellikle antioksidan kapasitedeki artış belirgin olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Siyah sarımsak, antimikrobiyal, antioksidan, kimyasal, fizikokimyasal

<sup>1</sup>Giresun University, Faculty of Engineering, Department of Genetics and Bioengineering, Giresun, Türkiye, [cengiz.corbaci@giresun.edu.tr](mailto:cengiz.corbaci@giresun.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8697-0945>



## 1. Introduction

With a total harvested area of 1.437.690 hectares and an annual yield of 24.255.303 tons of dry head, garlic (*Allium sativum* L.) is one of the most essential vegetables in the world (Martins et al., 2016). Apart from being widely used for general culinary purposes, it is of great importance in both traditional and modern medicine due to its therapeutic and medicinal properties (Martins et al., 2016; Kimura et al., 2017; Lu et al., 2017). The unmistakable taste of cloves, which is the outcome of complicated biochemical reactions, is the most important quality characteristic of garlic. The sulfur-containing, non-volatile amino acids like S-allyl cysteine sulfoxide (ACSO) or alliin are the main causes of this flavor. Besides their flavor properties, these compounds are involved in the well-known medicinal properties of garlic, such as antimicrobial, antioxidant, anti-cancer, anti-inflammatory, anti-diabetic, cardio-protective, and immunomodulatory activity. They also promote glutathione biosynthesis, which has strong antioxidant properties. In addition to its volatile compounds, garlic contains vitamins, flavonoids, phenolic compounds, antioxidants, minerals, amides, nitrogen oxides and proteins, and saponins and sapogenins with important therapeutic and medicinal functions (Martins et al., 2016; Kimura et al., 2017).

The most common approach to remove the undesirable taste and odor of garlic is heat treatment. When garlic is heat-treated, it undergoes various physicochemical changes, changing its color, taste, and nutritional content due to non-enzymatic browning reactions such as the Maillard reaction, chemical oxidation of phenols, and caramelization. Some of these reactions are connected with the formation of compounds that exhibit significant antioxidant effects (Bae et al., 2014).

Recently, a garlic product called black garlic has begun to appear on the market. To produce black garlic, fresh garlic is kept at high temperatures and humidity for a certain time. Unlike fresh garlic, black garlic has a fruity sweet taste, and thus it can be consumed easily (Kang, 2016; Ngan et al., 2017). The levels of amino acids, S-allyl-cysteine (SAC), polyphenols, and flavonoids are significantly higher in black garlic. It has stronger radical scavenging activity and exhibits antimicrobial behaviors against pathogens such as *Escherichia coli*, *Candida albicans*, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), and *Pseudomonas aeruginosa*. It also has superior anti-tumor, anti-cancer, and immunomodulatory effects than fresh garlic (Ngan et al., 2017).

In Türkiye, especially in Taşköprü (Kastamonu), garlic is cultivated intensively, but despite its important properties, the consumption of fresh garlic is still avoided for specific reasons. It has a strong unpleasant taste and odor, causes gastrointestinal diseases in some people, and has side effects such as hemolytic anemia and allergic reactions. Black garlic products, on the other hand, are easier to consume and have important chemical and biological properties compared to fresh garlic. Therefore, the aim of the study is to investigate antimicrobial and antioxidant activity, as

well as physicochemical and chemical compositions of black garlic samples obtained from fresh Taşköprü (Kastamonu) garlic, which is an important resource and value for Türkiye.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Garlic Samples**

Fresh garlic samples were purchased in 2018 from garlic producers in Taşköprü (Kastamonu).

### **2.2. Preparation of Black Garlic Samples and Extraction**

The method used to prepare black garlic samples was reported in the literature (Choi et al., 2014). Fresh unpeeled garlic bulbs were incubated for 14, 21, 28, and 35 days in a climatic chamber at 70°C and 90% relative humidity. Then, the fresh and black garlic cloves were peeled and powdered with a high-speed mixer. The powdered samples were mixed with ethyl acetate (EtOAc), ethanol (EtOH), and methanol (MeOH) at a ratio of 1:3 (solid:liquid), and the extraction was carried out three times for 1 hour in a shaking incubator at room temperature. The supernatants collected after centrifuging the extracts at 4000 rpm for 10 minutes were evaporated using a rotary evaporator (Hei-Vap Precision, Heidolph) and kept at -20°C until used.

### **2.3. Determination of Physicochemical Properties**

The official AOAC method was used to determine the moisture content of garlic samples (AOAC, 2000). 10 g of powdered samples were dried at a temperature of 70±5°C in an oven until the weight was stabilized and the humidity rate was expressed as %. To measure the pH values, 10 g of powdered samples were homogenized with 100 ml of distilled water, and the pH values were measured with a calibrated pH meter (Starter3000, Ohaus) (Bae et al., 2014). By measuring absorbance at 420 nm, the browning intensity was evaluated spectrophotometrically (Bae et al., 2014). UV-visible spectra were recorded by measuring absorbances in the range of 200-800 nm in a spectrophotometer (UV-61 OOPCS Double Beam Spectrophotometer, Mapada) to detect the browning development (Choi et al., 2014). The total acid contents were evaluated by titration to pH 8.3 with 0.1 N NaOH and reported as a percentage of tartaric acid. The 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method was used to determine the reducing sugar content (Miller, 1959).

### **2.4. Determination of Chemical Content and Elemental Analysis**

In powdered samples, total protein (TS 1620, 2002), crude fat (TS EN ISO 11085, 2016), total ash (TS 2131 ISO 928, 2001), and crude fiber (TS 6932, 1989) were determined.

Calcium (Ca), manganese (Mn), copper (Cu), phosphorus (P), selenium (Se), sodium (Na), iron (Fe), magnesium (Mg), potassium (K), and zinc (Zn) contents were determined according to the NMKL 186 standard (NMKL, 2007). The samples were mixed with 7 ml of 65% nitric acid (HNO<sub>3</sub>) and 1 ml of 30% hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and dissolved in a microwave burning device (Start D, Milestone) at 180°C and 270 bar pressure (The samples were allowed to burn until they became transparent in liquid form and no residue remained). The samples were then diluted to 50 ml with distilled water and stored at +4°C. Elemental analysis was performed on an ICP-MS instrument (7700 Series, Agilent).

## 2.5. Determination of Total Flavonoid and Phenolic Acids

The total flavonoid (TFC) and phenolic acid (TPC) contents of the extracts obtained from fresh and black garlic samples were determined by spectral methods using AlCl<sub>3</sub> and Folin-Ciocalteu reagent, respectively. Total flavonoids were expressed as quercetin equivalent and total phenolic acids as gallic acid equivalent (Özcan et al., 2019).

## 2.6. ABTS and DPPH Radical Scavenging Activity

The 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) radical cation scavenging activity was determined by modifying the method described by Re et al. (1999). 80 µl of the extracts were mixed with 160 µl of the ABTS solution (OD<sub>750</sub> = 0.7) prepared by mixing 7 mM ABTS and 2.45 mM potassium persulfate (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) and incubated for 6 minutes at room temperature in the dark. After incubation, absorbances were measured in a spectrophotometer at 750 nm and expressed as Trolox equivalent.

The 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity was determined by modifying the method proposed by Brand-Williams et al. (1995). 125 µl of extracts were mixed with 125 µl of the 0.1 mM DPPH solution prepared in ethanol and incubated in the dark at room temperature for 45 minutes. After incubation, absorbances were measured in a spectrophotometer at 490 nm and expressed as Trolox equivalent.

## 2.7. Antimicrobial Activity

The disc diffusion (CLSI, 2015a) and minimum inhibitory concentration (MIC) (CLSI, 2015b) methods were used to determine the antimicrobial activity of the extracts. In the experiments, test organisms *Candida albicans* ATCC 14053, *Escherichia coli* ATCC 29998, *Enterococcus faecium* DSMZ 13590, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC 43300, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 were used.

## 2.8. Statistical Analysis

In this study, the tests were performed three times, and the findings were reported as an average of the experiments.

## 3. Results and Discussion

Garlic is one of the most important vegetables consumed for centuries. In many studies conducted so far, it has been reported that garlic has antimicrobial, antioxidant, and anti-cancer properties, as well as medicinal effects such as relieving the effects of fatigue, regulating blood sugar and blood pressure, aiding digestion, and increasing appetite (Lu et al., 2017). Due to all these important benefits, it is one of the most widely used plants in many countries for food and medical purposes, but its unpleasant smell and taste limit its consumption. Heat treatment is a method that eliminates the negative aspects of garlic in order to increase its consumption. It can also contribute to the flavor and quality of garlic and provide novel functions (Bae et al., 2014; Zhang et al., 2016). In this study, black garlic samples were obtained by keeping the fresh garlic samples at 70°C and 90% relative humidity for 14, 21, 28, and 35 days. Figure 1 shows the color changes of the black garlic samples during the aging period. FG label was used for fresh garlic, and BG14, BG21, BG28 and BG35 labels were used for black garlic samples, respectively.



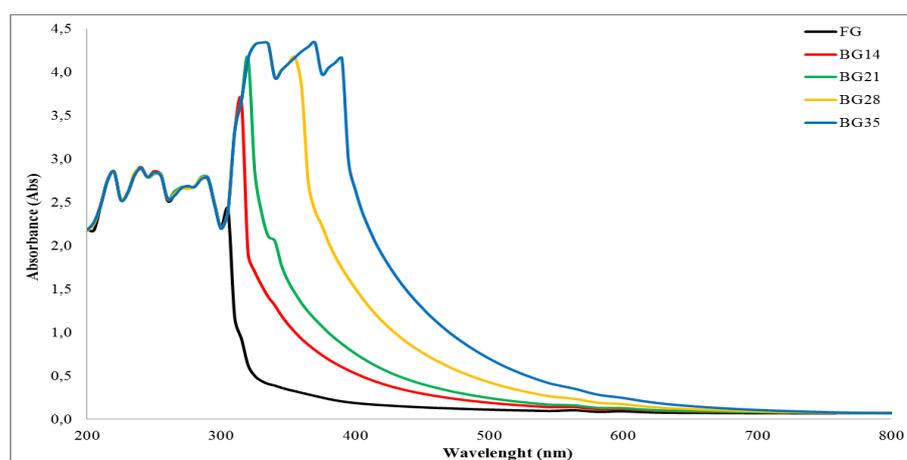
**Figure 1.** Color changes of black garlic samples during the aging period

Table 1 shows the physicochemical characteristics of FG and BGs. As shown in the table, the aging period increased total acid and reducing sugar contents and it decreased humidity and shifted pH values to acidity. It was also noted that the browning intensity of the samples gradually increased with increasing incubation time. In a research conducted by Choi et al. (2014), fresh

garlic samples from the South Korean agricultural market were aged at 70°C and 90% relative humidity for up to 35 days to determine the physicochemical properties of FG and BG samples, and the authors found similar results consistent with this study. The UV-visible absorbance spectra of FG and BG samples are shown in Figure 2. The fresh garlic gave the highest absorbance at 240 nm, and BG35 displayed the highest absorbance at 370 nm. The changes in color and spectral patterns are due to the products formed as a result of the Maillard reaction, and the aging conditions such as temperature and time have an effect on the formation of the products (Choi et al., 2014).

**Table 1.** Physicochemical properties of FG and BG samples during the aging period

Samples	Moisture (%)	pH	Browning intensity (420 nm)	Total acid content (% tartaric acid)	Reducing sugar content (g glucose kg <sup>-1</sup> )
FG	63.47	6.89	0.163	0.06	9.55
BG14	59.40	5.36	0.410	0.12	142.64
BG21	57.80	5.10	0.580	0.15	202.01
BG28	55.05	4.63	1.133	0.24	301.33
BG35	42.04	4.60	1.899	0.31	316.93



**Figure 2.** UV-visible absorbance spectra of FG and BG samples

Table 2 summarizes the total protein, crude fat, total ash, and crude fiber values for FG and BG samples. Upon examination of the results, it was generally observed that the longer the aging time, the higher the chemical contents in the samples. Briefly, in FG, the total protein, crude fat, total ash, and crude fiber values were found to be 5.61%, 0.04496%, 0.8753%, and 1.12%, respectively, while in BG35, these values were found to be 12.95%, 0.07393%, 2.2592%, and 2.21%, respectively. Since the studies on black garlic are quite new and insufficient, some of the chemical contents determined in this study could not be compared to the literature data. In a study by Kang (2016), black garlic samples were obtained from fresh garlic harvested in Korea with a stepwise heating schedule. The author examined the ash content of fresh and black garlic samples

and found that the fresh garlic had the lowest amount of ash ( $73.59 \pm 0.89$  mg  $100$  g<sup>-1</sup>) and the black garlic labeled as BG5 had the highest amount ( $114.36 \pm 8.65$  mg  $100$  g<sup>-1</sup>). There are several types of research in the literature on the chemical content of fresh garlic. In a study by Haciseferoğulları et al. (2005), some technological and nutritional characteristics of Taşkoprü (Kastamonu) garlic were analyzed. The researchers have found that the fresh garlic had a total protein content of 9.26%, crude oil content of 0.34%, crude fiber content of 2.17%, and ash content of 2.3%. In another study, Chekki et al. (2014) investigated the antioxidant and antibacterial activities, and chemical composition of Tunisian garlic, and they found that the garlic contained 1.4% and 5.2% protein and ash contents, respectively.

**Table 2.** Total protein, crude fat, total ash, and crude fiber values of FG and BG samples

Samples	Total protein (%)	Crude fat (%)	Total ash (%)	Crude fiber (%)
FG	5.61	0.04496	0.8753	1.12
BG14	9.88	0.06495	1.5910	1.50
BG21	8.50	0.07395	1.6561	1.41
BG28	18.05	0.06697	1.6988	2.05
BG35	12.95	0.07393	2.2592	2.21

The mineral contents of FG and BG samples were also investigated in this study (Table 3). K and S elements were detected in the highest amounts in all samples. Along with these two elements, most of the others gradually increased with increasing the aging period. The elements Na, Al, and Se did not increase or decrease gradually. In the study by Kang (2016), the mineral contents of black garlic samples were also determined. Similar to this study, the most abundant element in fresh and black garlic samples was K, followed by S. These two elements are followed by the elements Na, Mg, and Ca. In another study, Gulfraz et al. (2014) determined the concentrations of the elements Mg, Zn, and Cu in fresh garlic samples obtained from different local markets in Pakistan and showed that Mg was the most abundant element in the samples, followed by Zn and Cu elements, respectively. The findings were in agreement with the data from this study.

Table 4 shows the total flavonoid and phenolic acid contents (TFC and TPC, respectively) and antioxidant activities of EtOAc, EtOH, and MeOH extracts obtained from FG and BG samples. In the EtOAc extracts, BG14 gave the highest amount of TFC ( $20.55 \pm 2.50$  mg quercetin g<sup>-1</sup> extract), and BG21 gave the highest TPC amount ( $34.25 \pm 1.75$  mg gallic acid g<sup>-1</sup> extract). In the EtOH extracts, FG had the highest amounts of TFC ( $4.38 \pm 0.11$  mg quercetin g<sup>-1</sup> extract) and TPC ( $49.70 \pm 2.53$  mg gallic acid g<sup>-1</sup> extract). From the 14th day of the aging period, significant decreases in the amounts of TFC and TPC were observed, and the decrease was limited in the rest. In the MeOH extracts, the amounts of TFC and TPC gradually increased with increasing the aging period,

and BG35 had the highest amounts of TFC ( $1.39\pm 0.06$  mg quercetin  $g^{-1}$  extract) and TPC ( $27.17\pm 1.82$  mg gallic acid  $g^{-1}$  extract). In the research performed by Choi et al. (2014), they also examined the total polyphenol and flavonoid contents of samples. The authors found the highest amount of total polyphenol ( $58.33\pm 0.70$  mg GAE  $g^{-1}$ ) in the black garlic sample obtained after a 21-day aging period, while the highest amount of total flavonoids ( $16.26\pm 1.69$  mg RE  $g^{-1}$ ) was determined in the black garlic sample obtained after a 28-day aging period. In a study conducted by Kim et al. (2013), black garlic samples were prepared from fresh garlic harvested in Korea, similar to the stepwise heating schedule performed by Kang (2016), and the flavonoid and phenolic acid contents of these samples were compared. The authors found that black garlic sample labeled as BG5 had the highest flavonoid and total phenolic contents, followed by black garlic samples labeled as BG4, BG3, BG2, BG1, and FG, respectively. In a research performed by Jang et al. (2018), black garlic sample obtained from extraction with distilled water had the highest total phenol ( $147.58\pm 5.27$  mg GAE  $g^{-1}$ ) and flavonoid ( $338.04\pm 1.60$   $\mu g$  QE  $g^{-1}$ ) contents.

**Table 3.** Mineral contents of FG and BG samples

Minerals (mg Kg <sup>-1</sup> )	Samples				
	FG	BG14	BG21	BG28	BG35
Na	132.35±2.625	55.60±0.151	62.41±0.682	35.69±0.653	97.91±2.152
Mg	236.88±4.009	270.20±2.839	309.31±2.421	312.73±0.679	423.58±10.595
Al	3.67±0.036	0.30±0.058	0.99±0.022	0.57±0.050	1.63±0.089
K	3984.98±115.373	4705.80±71.288	5111.90±73.147	5927.71±26.830	7603.60±89.912
Ca	221.26±2.513	289.75±6.815	393.35±5.272	331.31±8.883	387.36±8.353
Mn	3.16±0.063	3.72±0.037	4.52±0.028	4.93±0.029	6.07±0.141
Fe	6.86±0.408	6.87±0.120	8.60±0.177	10.27±0.056	13.63±0.374
Cu	21.38±0.235	33.30±0.239	39.27±0.317	45.60±0.260	48.19±3.259
Zn	155.11±3.034	174.09±2.595	276.80±2.921	259.86±1.308	310.79±6.382
P	1262.43±5.222	1898.36±49.000	2003.45±73.114	2112.75±75.108	2608.55±24.078
S	3857.28±23.658	4914.68±107.836	5446.03±247.589	5447.11±131.225	6723.02±65.647
Se	0.04±0.003	0.02±0.002	0.03±0.001	0.04±0.002	0.04±0.002

After evaluating the results obtained from ABTS and DPPH methods, it was determined that the results were in correlation with each other. In all the extracts, the radical scavenging activity increased as the aging period increased in both methods, with the highest scavenging activities in

the EtOAc extract of BG35. The differences observed in the fresh and black garlic samples were impressive. Choi et al. (2014) found that free radical scavenging activities of the extracts increased with the aging period. In contrast to this study, the authors reported a gradual decrease in antioxidant activity in ABTS and DPPH methods after 21 days of aging period. In another study, Bae et al. (2014) obtained black garlic samples from fresh garlic supplied from local markets in Korea using different temperatures (40, 55, 70, and 85°C) and incubation periods (up to 45 days). The authors stated that the DPPH scavenging efficiencies of the samples increased significantly with increasing incubation time and temperature. Jang et al. (2018) studied the antioxidant activities of distilled water, ethanol, and chloroform extracts of fresh and black garlic samples. They found that the black garlic sample had higher radical scavenging activity than fresh garlic for all three solvents.

**Table 4.** Total flavonoid and phenolic acid contents of extracts from FG and BG samples

Samples	Extracts	Total flavonoid (mg quercetin g <sup>-1</sup> extract)	Total phenolic acid (mg gallic acid g <sup>-1</sup> extract)	ABTS (µg Trolox g <sup>-1</sup> extract)	DPPH (µg Trolox g <sup>-1</sup> extract)
FG	EtOAc	15.16±1.84	14.12±2.53	4.00±0.06	3.12±0.06
	EtOH	4.38±0.11	49.70±2.53	6.99±0.44	0.52±0.02
	MeOH	0.46±0.05	12.56±0.84	1.04±0.01	0.35±0.01
BG14	EtOAc	20.55±2.50	28.47±0.13	36.17±0.26	13.49±0.33
	EtOH	1.94±0.10	31.13±0.97	7.18±0.25	0.79±0.04
	MeOH	0.84±0.06	18.60±0.39	3.65±0.10	0.76±0.03
BG21	EtOAc	9.37±0.92	31.13±0.97	48.12±0.44	21.48±0.54
	EtOH	1.67±0.16	32.69±1.36	7.44±0.93	1.64±0.05
	MeOH	1.16±0.05	24.18±0.39	5.44±0.23	1.98±0.07
BG28	EtOAc	12.46±1.78	34.25±1.75	53.39±3.78	24.28±0.85
	EtOH	0.98±0.11	30.94±0.52	7.88±0.07	2.58±0.06
	MeOH	1.15±0.08	26.65±1.17	7.83±0.09	2.32±0.07
BG35	EtOAc	13.18±0.66	30.74±0.58	55.41±0.35	26.10±0.78
	EtOH	1.23±0.05	31.58±1.04	8.97±0.95	3.00±0.10
	MeOH	1.39±0.06	27.17±1.82	8.59±0.70	2.65±0.07

The antimicrobial activities of EtOAc, EtOH, and MeOH extracts obtained from FG and BG samples in this study were investigated using disc diffusion and broth dilution methods. When the results of both methods were evaluated together, it was seen that the antimicrobial activity of black



garlic samples was lower than that of fresh garlic. The EtOAc extract of FG exhibited inhibition zones against *C. albicans* (12 mm), *E. faecium* (7 mm), MRSA (9 mm), and *P. aeruginosa* (9 mm), while the MIC values of this extract were 256  $\mu\text{g ml}^{-1}$  against *E. faecium*, MRSA and *P. aeruginosa*, and 128  $\mu\text{g ml}^{-1}$  against *C. albicans*. However, the black garlic samples showed activity only against *C. albicans*. In the research carried out by Jang et al. (2018), the antimicrobial activities of fresh and black garlic extracts were determined using the disc diffusion method. The authors reported that only chloroform extract from the fresh garlic sample had an inhibitory zone (9.67<sup>b</sup> mm) against *Bacillus cereus*. From the black garlic samples, distilled water extract had antimicrobial activity against *E. coli* and *S. aureus*, ethanol extract had activity only against *E. coli*, and chloroform extract showed antimicrobial activity only against *B. cereus*.

#### 4. Conclusions

This research aimed to determine the changes in the chemical and physicochemical contents and the in vitro antimicrobial and antioxidant properties that occur during the aging process of garlic samples to produce black garlic. Compared to FG, the browning intensity, total acid and reducing sugar contents, total protein, crude fat, total ash, and crude fiber contents improved substantially in BGs, even as the moisture contents and pH values decreased. The radical scavenging capacities have been significantly better than that of FG. However, no significant differences have been observed in the total flavonoid and phenolic acid contents and antimicrobial activities of the samples during the aging period. In light of the findings obtained from this study, it is possible to say that the biological, chemical, and physicochemical properties of garlic change during the aging process. Therefore, the aging period should be optimized for the desired target in biotechnological processes.

#### Acknowledgements

This work was supported by the Scientific Research Unit of Giresun University (FEN-BAP-A-230218-33). I would like to thank Orhan Reis Agricultural Products (Taşköprü, Kastamonu) for their help in the production of black garlic samples. The facilities of Gümüşhane University Central Research Laboratory Application and Research Center were used to determine the chemical and elemental analyses of fresh and black garlic samples.

#### Statement of Conflicts of Interest

The author declares no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- AOAC (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International, 15th ed. Association of Official Analytical of Official Analytical Communities. Washington, USA.
- Bae, S. E., Cho, S. Y., Won, Y. D., Seon, H. L., and Hyun, J. P. (2014). Changes in S-allyl cysteine contents and physicochemical properties of black garlic during heat treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 55, 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.006>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chekki, R. Z., Snoussi, A., Hamrouni, I., and Bouzouita, N. (2014). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of Tunisian garlic (*Allium sativum*) essential oil and ethanol extract. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 3, 947-956. <https://doi.org/10.13171/mjc.3.4.2014.09.07.11>
- Choi, I. S., Cha, H. S., and Lee, Y. S. (2014). Physicochemical and antioxidant properties of black garlic. *Molecules*, 19, 16811-16823. <https://doi.org/10.3390/molecules191016811>
- CLSI (2015a). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically; approved standard, 10th edn. CLSI document M07-A10. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne.
- CLSI (2015b). Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests; approved standard, 12th edn. CLSI document M02-A12. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne.
- Gulfraz, M., Imran, M., Khadam, S., Ahmed, D., Asad, M. J., Abassi, K. S., Irfan, M., and Mehmood, S. (2014). A comparative study of Antimicrobial and antioxidant activities of garlic (*Allium sativum* L.) extracts in various localities of Pakistan. *African Journal of Plant Science*, 8, 298-306. <https://doi.org/10.5897/AJPS11.252>
- Haciseferoğulları, H., Özcan, M., Demir, F., and Çalışır, S. (2005). Some nutritional and technological properties of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, 68, 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.024>
- Jang, H-J., Lee, H-J., Yoon, D-K., Ji, D.S., Kim, J-H., and Lee, C-H. (2018). Antioxidant and antimicrobial activities of fresh garlic and aged garlic by-products extracted with different solvents. *Food Science and Biotechnology*, 27, 219-225. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0246-4>
- Kang, O-K. (2016). Physicochemical characteristics of black garlic after different thermal processing steps. *Preventive Nutrition and Food Science*, 21, 348-354. <https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.4.348>
- Kim, J-S., Kang, O-K., and Gweon, O-C. (2013). Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different thermal processing steps. *Journal of Functional Foods*, 5, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.08.006>
- Kimura, S., Tung, Y-C., Pan, M-H., Su, N-W., Lai, Y-J., and Cheng, K-C. (2017). Black garlic: A critical review of its production, bioactivity, and application. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.003>
- Lu, X., Li, N., Qiao, Z., Qiu, Z., and Liu, P. (2017). Composition analysis and antioxidant properties of black garlic extract. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.05.011>
- Martins, N., Petropoulos, S., and Ferreira, I. C. F. R. (2016). Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and post-harvest conditions: A review. *Food Chemistry*, 211, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.029>
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Ngan, N., Giang, M., and Tu, N. (2017). Biological activities of black garlic fermented with *Lactobacillus plantarum* PN05 and some kinds of black garlic presenting inside Vietnam. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51, 672-678. <https://doi.org/10.5530/ijper.51.4.99>

- Nordic Committee on Food Analysis (NMKL) (2007). NMKL 186 Trace elements-As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion. NMKL Publications. Oslo: Nordic Committee on Food Analysis.
- Özcan, K., Acet, T., and Çorbacı, C. (2019). *Centaurea hypoleuca* DC: Phenolic content, antimicrobial, antioxidant and enzyme inhibitory activities. *South African Journal of Botany*, 127, 313-318. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.020>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- TS 1620 (2002). Macaroni. Turkish Standards Institution, Ankara.
- TS 2131 ISO 928 (2001). Spices and condiment - Determination of total ash. Turkish Standards Institution, Ankara.
- TS 6932 (1989). Agricultural food products - Determination of crude fibre content-General method. Turkish Standards Institution, Ankara.
- TS EN ISO 11085 (2016). Cereals, cereals-based products and animal feeding stuffs - Determination of crude fat and total fat content by the Randall extraction method. Turkish Standards Institution, Ankara.
- Zhang, X., Li, N., Lu, X., Liu, P., and Qiao, X. (2016). Effects of temperature on the quality of black garlic. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 2366-2372. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7351>

## Giresun'da İç Ortam Havaındaki PAH Bileşenlerinin Mevsimsel Olarak Belirlenmesi

Aysun TÜRKMEN<sup>1\*</sup>, Alev ELKAYA<sup>2</sup>, Mustafa TÜRKMEN<sup>3</sup>

### Öz

Giresun'da 2018 yılı Sonbahar ve 2019 yılı Kış mevsimlerinde evlerin iç ortam havasında (mutfak) maruz kalınan Poliromatik Hidrokarbonların (PAH) konsantrasyonları pasif örnekleme metodu kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Giresun'da beş istasyon belirlenmiş bu istasyonlarda ısınma amaçlı hem doğal gaz hem de kömür kullanılmaktadır. Hindistan cevizi bazlı aktif karbon kullanılarak pasif örnekleme tüpleri 30 gün evlerin mutfakların da bekletilmiştir. Toplanan örnekleme tüplerindeki aktif karbonlar ekstrakte edildikten sonra 38 PAH bileşeni GC-MS cihazı ile analizler edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi One-way ANOVA, Post-Hoc testi (Tukey) uygulanmıştır. İki mevsim arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark görülmemiştir ( $p>0.05$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Giresun, pasif örnekleme, PAH, GC-MS, iç ortam.

## Seasonal Determination of PAH Components in Indoor Air in Giresun

### Abstract

In Giresun, concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons compounds exposed to indoor air (kitchen) in of the houses in Autumn 2018 and Winter 2019 were tried to be determined using passive sampling method. Both natural gas and coal are used for heating at these stations, which have been determined five stations in Giresun. Passive sampling tubes were kept in the kitchens of the houses for 30 days using coconut-based activated carbon. After the activated carbons in the collected sampling tubes were extracted, 38 PAH components were analyzed by GC-MS. One Way ANOVA-Tukey test is performed to show differences between. No statistically significant difference was observed between the two seasons ( $p>0.05$ ).

**Keywords:** Giresun, passive sampling, PAH, GC-MS, indoor air.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Giresun, Türkiye aysun.turkmen@giresun.edu.tr

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Doktora Mezunu/Araştırmacı, Giresun, Türkiye

<sup>3</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Giresun, Türkiye mustafa.turkmen@giresun.edu.tr

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7461-4038> <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1880-4309> <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6700-5947>

## 1.Giriş

Kömürün, petrolün, gazın, odunun, çöpün tamamen yanması sonucu oluşan Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), kansorejen etkiye sahip zehirli maddelerdir. Poliaromatik hidrokarbonlar çevreye hava yoluyla girişleri; volkanlar, orman yangınları, odun ve kömürün ısınma amacıyla kullanıldığı yerleşim alanlarıyla motorlu taşıtların egzozlarından çıkan gazlar yoluyla gerçekleşmektedir. Organik yapıli bileşikler olan PAH'lar iki veya daha fazla benzen halkasına sahip hidrofobik özelliktedirler (Zhang ve ark., 2006; Wang ve ark., 2010). İki benzen halkasına sahip olanlar naftalin, üç benzen halkasına sahip olanlar antrasen ya da fenantren, daha fazla benzen halkasına sahip olanların ise kendilerine özgü isimleri vardır. Suda çözünürlüğü ise oldukça düşükken, yağda ki çözünürlüğü ise yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı canlı dokuda birikerek besin zincirine girebilmektedir (Gaga ve Ari, 2011). Düşük buhar basıncına sahip olmasından dolayı hava da ki partiküller üzerinde tutunabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği ile PAH'lar, güneş ışınımı ile, ultraviyole ışınlarla maruz kaldığı zaman ışıkla bozunmaya uğrarlar. Atmosferde bulunan PAH'lar, nitrojen oksitler, ozon, sülfürik asitler ve sülfür oksitler gibi kirleticilerle reaksiyona girebilirler (WHO, 1987; ATSDR, 1994). Doğada 100'den fazla PAH bileşiği mevcuttur (ATSDR, 1995; Martorell ve ark. 2010). Fakat Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birimi (United States Environmental Protection Agency, US-EPA) bu PAH bileşiklerinden 16 tanesini öncelikli kirleticiler olarak saymışlardır (EPA, 1999). Kansorejen olan bu 16 polisiklik aromatik hidrokarbon bileşiklerinin isimleri ise; Asenaftelen (Anp), Asenaften (Ane), Antrasen (An), Benzo[a]antrasen (BaA), Krisen (Chr), Benzo[b]floranten (BbF), Benzo[k]floranten (BkF), Benzo[a]piren (BaP), Benzo[g,h,i]perilen (BghiPy), Dibenzo[a,h]antrasen (DahA), Floren (Flr), Fenantren (Phe), Floranten (Flu), Naftalin (Np), Piren (Py), İndeno[1,2,3-cd]piren(IcdP)'dir (Alver ve ark., 2012).

Yarı uçucu özelliğe sahip PAH'lar bu özelliklerinden dolayı her yere taşınabilirler. Örneğin, Motorlu taşıtların egzozlarından çıkan PAH'lar dış hava aracılığıyla pencere, kapı gibi yapı unsurlarından iç ortamlara taşınabilir (Cheng ve ark., 2013; Krugly, 2013). Ayrıca iç ortamlarda mutfakta yapılan pişirme işlemi, sigara içmek, mum yakmak gibi eylemlerle doğrudan iç ortamda gerçekleşen yanmalarla da PAH oluşumu sıklıkla tekrarlanır. ABD'de yapılan bir araştırmaya göre insanların günlük zamanının %90'ını binalarda geçirmekte olduğu açıklanmıştır (Robinson ve Nelson, 1995). Bu değer göz önüne alındığında günlük hayatın uzunca bir bölümünü geçtiği iç ortamların hava kalitesinin dış ortam kadar önemli olduğu açıkça görülmektedir. Mutfaklarda gerçekleştirilen kavurma, kızartma ve ızgara yapımı sırasında hiç farkında olmadan PAH bileşiklerinin oluşumuna neden olunmaktadır. Bu işlemler sırasında sıcaklık 400°C'nin üzerine çıktığında Poliaromatik hidrokarbonların oluşumu söz konusu olmaktadır

PAH'lar kanserojendir. Özellikle Benzo(a)anthracene, Benzo(b+k)fluoranthene, Chrysene, Benzo(a)pyrene insanlar üzerinde etkileri olan önemli kanserojenik PAH bileşikleridir (Gaga ve Ari, 2011). Bu nedenle iç ortam havasında çok önem arz ederler. Yapısında ki benzen halkasına göre; dörtten az olan PAH'lar hafif PAH; dört ve daha fazla benzen halkası bulunduranlar ise ağır PAH olarak tanımlanmaktadır (Danyi ve ark., 2009). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) kansorejen olma sınıfına göre gruplara ayrılmıştır. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (Resmi gazete, sayı:19269 tarih:1986) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre (resmi gazete, 2014, sayı 29211) izin verilen sınır değerler aşağıdaki çizelge 1 ve tablo 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) için izin verilen sınır değerler.

I inci sınıfa giren maddeler (0.5 g/h ve üzerindeki emisyon debileri için)	0.1 mg/m <sup>3</sup>
II nci sınıfa giren maddeler (5 g/h ve üzerinde emisyon debileri için)	1 mg/m <sup>3</sup>
III üncü sınıfa giren maddeler (25 g/h ve üzerindeki emisyon debileri için)	5 mg/m <sup>3</sup>

**Tablo 1.** Kanserojen maddeler.

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
-Benzo(a)antrasen	-3,3'-Dikloro-(1,1'-bifenil)	-Akrilonitril
-Benzo(a)piren	-3,3-Diklorbenzidin (+tuzları)	-Benzen
-Benzo(j)florenten	-Dietyl sülfat	-1,3-bütadien
-Benzo(k)florenten	-Dimetil sülfat	-Bütadien
-Berilyum ve bileşikleri	-1,2-Epoksietan	-1-Klor-2,3-epoksipropan (Epiklorhidrin)
-Cr(VI) bileşikleri	-Etenoksit	-Kloreten
-Dibenzo(a,h)-antrasen	-Etilenoksit	-1,2-Dibrometan
-2-Naftilamin (+ tuzları)	-Nikel ve bileşikleri	-1,2-dikloreten
-2-Nitropropan		-1,2-Epoksipropan
		-Hidrazin (+tuzları)
		-Propen oksit
		-Propennitril
		-Propilen oksit
		-Vinil klorür

Giresun sanayi bölgesi olmamakla birlikte, sahil şeridi boyunca çok yoğun bir trafiğe maruz kalmaktadır. Bunun yanı sıra ısıtma ve evsel faaliyetleri de bir araya geldiğinde hepsinin hava kirliliğine olumsuz etkileri görülmektedir. Kirli hava rüzgarlarla taşındığı gibi yağışlarla birlikte de tekrar yeryüzüne inmektedir.

Çalışmamız da Giresun merkezden beş istasyon belirlenmiş mutfaklarına örnekleme tüpleri konarak, iç ortam havasında insanların maruz kaldığı PAH konsantrasyonları gözler önüne serilmiştir. Ayrıca iki mevsim (Ekim-Kasım, Şubat-Mart) PAH konsantrasyonlarına bakılarak

mevsim geçişlerinde i ortamdaki durum hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Daha nceki yıllara baktığımızda havada ki PAH bileşiklerinin Giresun ilinde iç ortamda çalışılmadığı görülmüş ve bu konuya açıklık getirmede bilimsel anlamda önemli bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal-Metot

### 2.1 Araştırma Bölgesi

Araştırma bölgesi olarak Giresun ili, doğusunda Trabzon ve Gümüşhane, batısında Ordu, güneyinde Sivas ve Erzincan ile komşu olup kuzeyin de Karadeniz bulunmaktadır. Çalışma, 2018 yılının Ekim-Kasım ayları ile 2019 yılının Şubat-Mart ayları arasında iki mevsim (Sonbahar-Kış) olarak yapılmıştır. Bu alışma Giresun il merkezi sahil kesimi boyunca gerçekleştirilmiştir.

Doğalgaz ve kömür kullanılan semtlerden beş istasyon belirlenmiş, iki mevsim de örnekleme yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Pasif örnekleme tüplerinin yerleştirildiği istasyonlar.

Giresun'da kullanılan yakıtları gösteren tablo aşağıda verilmiştir.

**Tablo 2.** Giresun İlinde belirlenen istasyonlarda kullanılan yakıtlar.

İSTASYONLAR	DOĞALGAZ	KÖMÜR
Sanayi	-	+
Şehir Merkezi	+	+
Kumyalı	+	+
Çıtlakkale	+	+
Güre	+	+

## 2.2. Giresun İklimi ve Meteorolojisi

Karadeniz kıyılarında ılık ve yağışlı iklim görülür. Giresun il merkezinde yıllık ortalama sıcaklık 14.5 °C derece olmakla birlikte, en soğuk ayda (Şubat ayında) ortalama sıcaklık 4.3 °C derece iken, en sıcak ayda (Ağustos ayında) ise ortalama 26.6 °C derecedir (URL-1, 2018). Giresun İli 2018 Ekim-Kasım, 2019 Şubat-Mart ayları Meteorolojik Verileri Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Giresun İli 2018 Ekim-Kasım, 2019 Şubat-Mart ayları Meteorolojik Verileri (URL-2, 2019).

Aylar	Ort. rüzgar hızı (m/sn)	Aylık max. rüzgar hızı	Aylık ort. Rüzgar yönü	Aylık max. Rüzgar yönü	Meteorolojik hadise	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Nem (%)	Toplam yağış (kg/m <sup>2</sup> )
Ekim 2018	1.2	12.9	333.0 KKB (Yıldız-Karayel)	312.0 KB (Karayel)	Kuvvetli rüzgar (10.8 m/sn üzeri rüzgar hızı)	18.8	70.4	176.9
Kasım 2018	1.1	10.3	329.0 KKB (Yıldız-Karayel)	330.0 KKB (Yıldız-Karayel)	Sert rüzgar (8-10.7 m/sn)	13.8	69.0	159.0
Şubat 2019	1.4	12.3	313.0 KB (Karayel)	173.0 G (Kible)	Kuvvetli rüzgar (10.8 m/sn üzeri rüzgar hızı)	8.4	68.2	67.7
Mart 2019	1.4	14.4	318.0 KB (Karayel)	305.0 BKB (Güneybatı-Karayel)	Kuvvetli rüzgar (10.8 m/sn üzeri rüzgar hızı)	8.8	64.1	58.0

## 2.3 Yöntem

Atmosferden gaz halindeki kirleticiler pasif örnekleme tüpleri ile toplanmıştır. Hindistan cevizli aktif karbon toz haline getirilerek 3 saat etüvde kurutulmuş daha sonra cam krozelerde yakılmış ve soğutulduktan sonra 6 cm. uzunluğunda pasif numune tüplerinin orta kısmına (550± 30 mg.) aktif kömür ile doldurulmuş ve her iki ucu cam yünü ile kapatılmıştır. Hazırlanan pasif örnekleme tüpleri belirlenen istasyonlara basit rastgele örnekleme yöntemi ile yerleştirilmiştir. Belirlenen evlerin mutfakların da 30 gün bekletilmiş ve evlerden toplanmıştır.



Toplanan tüplerin içerikleri desorpsiyon için falcon tüplerine aktarılmış, desorpsiyon çözeltisi olarak düşük benzen içerikli karbon disülfür (CS<sub>2</sub>) den 2 mL ilave edilmiştir. Desorpsiyon işlemi için falcon tüpleri vidalı kapaklar ile kapatılarak ultrasonik banyo da yaklaşık 30 dakika ara ara çalkalanmıştır. Desorbe edilen ekstrakt viallere alınmış ve vialler vidalı kapaklar ile kapatılıp, numuneler Gaz Kromatografi- MS cihazında analiz edilmiştir. PAH standardı olarak, yüksek saflıkta standart PAH-HM16C 2000 µg/mL Metilen Klorür kullanılmıştır. Aşağıda ki şekilde bizim tarafımızdan hazırlanan pasif örnekleme tüpleri görülmektedir (Şekil 2.)



Şekil 2. Hazırladığımız örnekleme tüpleri.

## 2.4. Kullanılan Cihazlar

### 2.4.1. Gaz Kromatografi – Kütle Spektrometresi (GC-MS)

Numune analizi için Agilent marka GC-MS Spektrometresi (Gas chromatography–Mass spectrometry) cihazı kullanılmıştır. Cihazın özellikleri aşağıda ki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2. GC-MS cihazında kullanılan reaktif-malzemeler ve İşletim Parametreleri (URL-3, 2020).

GC kolonu	DB-VRX 122-1564; 260°C: 60m x 0,25mm x 1,40µm film.
Dedektör	Alev İyonizasyon Dedektör (FID).
Dedektör Gazları	FID Dedektör için yüksek saflıkta kuru hava ve hidrojen.
Taşıyıcı gaz	Tüm kromatografik sistemlerde numunenin taşınması için kullanılan yüksek saflıkta Helyum. Helyum 30 cm/sn. 45 °C'de.
Fırın Programı	45°C-10 dk.-12 °C /dk., 190 °C - 2 dk.-6 °C /dk., 225 °C - 1 dk.
Fırın max. Sıcaklık	260 °C
Örnekleme	Purge: Helyum 11 dk-40mL/dk.
Tutucu	Tenax/Silika jel/Karboşiv
Ön ısıtma	175 °C
Desorb	220 °C-0.6 dk.
Enjeksiyon	Split-110 °C
Split oranı	20:1
Split akışı	36 mL/min

## 2.5. İstatistik Analiz

İstatistiksel analizler için One-way ANOVA ile varyans analizi yapılmıştır. Tukey testi uygulanmıştır. Analizler için SPSS paket program kullanılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

38 PAH bileşiğinin analizi Hindistan cevizli aktif karbon kullanılarak yapılmış olup, (-) ile gösterilen PAH'lar GC-MS'de tespit edilememiştir. Çizelge 3'de analizi yapılan PAH bileşiklerinin isimleri ve kısaltmalar gösterilmiştir.

Çizelge 3. Analizi yapılan PAH bileşiklerinin isimleri ve kısaltmaların gösterimi.

o-chlorotoluene	-
MCH	methylene-chloride
CH	chloroform
bromo-dichloro-methane	-
TDCPR	trans-1,3-dichloropropene
1,1,2-trichloroethane	-
DCHP	1,3-dichloropropane
DBCHM	Dibromochloromethane
1,2-dibromoethane	-
1,1,1,2-tetrachloroethane	-
CHBZ	chlorobenzene
ETB	ethylbenzene
PMXY	p+m xylene
bromoform	-
STY	styrene
TCHET	1,1,2,2-tetrachloroethane
OXYL	o-xylene
TCHP	1,2,3-trichloropropane
isopropylbenzene	
bromobenzene	
NPB	n-propyl-benzene
PCHT	p-chlorotoluene
TMTB	1,3,5-trimethylbenzene
TBB	tert-butylbenzene
TMB	1,2,4-trimethylbenzene
SECBB	sec-butylbenzene
DCHB	1,4-dichlorobenzene
1,3DCHB	1,3-dichlorobenzene
PCYM	p-cymene
1,2-dichlorobenzene	-
n-butylbenzene	-
1,2-dibromo-3-chloropr	-
1,2,4-trichlorobenzene	-
NAPHT	naphthalene
hexachloro-1,3-butadiene	-
1,2,3-trichlorobenzene	-
BNZN	benzene
toluene	

**Tablo 4.** 2018 yılı Ekim-Kasım ayları ve 2019 Şubat-Mart aylarında analiz edilen PAH bileşikleri ve değerleri (ppb=mg/m<sup>3</sup>).

	PAH İST.	MCH	CH	TDCPR	DCHP	DBCHM	CHBZ	ETB	PMXY	STY	OXYL	TCHET	TCHP	NPB	PCHT	TMTB	TBB	TMB	SECBB	DCHB	1,3 DCHB	PCYM	NAPT	BNZN	TOLUEN
		Ekim-Kasım 2018	Çıtlakkale	747 <sup>a</sup>	19,8 <sup>a</sup>	*	<b>140<sup>a</sup></b>	2,08 <sup>a</sup>	<b>11,3<sup>a</sup></b>	*	*	*	*	0,40 <sup>a</sup>	*	6,75 <sup>a</sup>	<b>1,49<sup>a</sup></b>	<b>1,49<sup>a</sup></b>	1,69 <sup>a</sup>	*	*	*	*	*	3,01 <sup>a</sup>
	Kumyalı	766 <sup>a</sup>	<b>26,6<sup>a</sup></b>	<b>1,50<sup>a</sup></b>	13,4 <sup>a</sup>	*	10,8 <sup>a</sup>	*	18,6 <sup>a</sup>	*	*	0,29 <sup>a</sup>	*	*	*	*	2,13 <sup>a</sup>	<b>14,9<sup>a</sup></b>	<b>0,15<sup>a</sup></b>	*	13,0 <sup>a</sup>	*	<b>11,3</b>	74 <sup>a</sup>	<b>205<sup>a</sup></b>
	Güre	<b>827<sup>a</sup></b>	15,5 <sup>a</sup>	*	59 <sup>a</sup>	*	8,48 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>	33,2 <sup>a</sup>	<b>4,69<sup>a</sup></b>	21,1 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	*	1,09 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	12,9 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	*	14,7 <sup>a</sup>	*	10,6 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	24,0 <sup>a</sup>
	Merkez	446 <sup>a</sup>	10,7 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	*	*	*	*	8,28 <sup>a</sup>	1,83 <sup>a</sup>	*	<b>0,55<sup>a</sup></b>	<b>0,15<sup>a</sup></b>	4,23 <sup>a</sup>	*	*	1,88	*	*	*	7,50 <sup>a</sup>	*	3,50 <sup>a</sup>	116 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>
	Sanayi	819 <sup>a</sup>	<u>17,2<sup>a</sup></u>	0,60 <sup>a</sup>	*	*	10,5 <sup>a</sup>	<b>29,9<sup>a</sup></b>	<b>37,3<sup>a</sup></b>	*	<b>31,5<sup>a</sup></b>	0,27 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	9,87 <sup>a</sup>	*	0,00 <sup>a</sup>	<b>2,67<sup>a</sup></b>	*	*	1,26 <sup>a</sup>	<b>16,8<sup>a</sup></b>	7,25 <sup>a</sup>	3,52 <sup>a</sup>	<b>180<sup>a</sup></b>	14,3 <sup>a</sup>
Şubat-Mart 2019	Çıtlakkale	809 <sup>a</sup>	25,2 <sup>a</sup>	*	<b>150<sup>a</sup></b>	3,12 <sup>a</sup>	<b>15,6<sup>a</sup></b>	*	*	*	0,3 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>	*	9,56 <sup>a</sup>	<b>3,21<sup>a</sup></b>	<b>2,58<sup>a</sup></b>	4,27 <sup>a</sup>	*	*	*	*	*	7,8 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>	29,8 <sup>a</sup>
	Kumyalı	812 <sup>a</sup>	<b>28,3<sup>a</sup></b>	<b>2,60<sup>a</sup></b>	17,9 <sup>a</sup>	*	12,3 <sup>a</sup>	18,2 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	<b>21,6<sup>a</sup></b>	*	0,67 <sup>a</sup>	*	*	*	5,62 <sup>a</sup>	5,49 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	<b>0,98<sup>a</sup></b>	*	14,6 <sup>a</sup>	3,77 <sup>a</sup>	<b>15,2<sup>a</sup></b>	81 <sup>a</sup>	<b>211<sup>a</sup></b>
	Güre	<b>902<sup>a</sup></b>	21,2 <sup>a</sup>	*	69 <sup>a</sup>	*	9,45 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>	38,5 <sup>a</sup>	8,49 <sup>a</sup>	23,5 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	1,98 <sup>a</sup>	6,47 <sup>a</sup>	2,10 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	<b>15,9<sup>a</sup></b>	0,08 <sup>a</sup>	*	19,7 <sup>a</sup>	*	10,9 <sup>a</sup>	69 <sup>a</sup>	25,8 <sup>a</sup>
	Merkez	520 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	0,89 <sup>a</sup>	*	*	*	*	10,6 <sup>a</sup>	3,78 <sup>a</sup>	*	<b>1,89<sup>a</sup></b>	<b>0,94<sup>a</sup></b>	*	*	*	2,86 <sup>a</sup>	*	*	*	7,90 <sup>a</sup>	*	7,11 <sup>a</sup>	120 <sup>a</sup>	9,12 <sup>a</sup>
	Sanayi	892 <sup>a</sup>	<u>19,5<sup>a</sup></u>	0,77 <sup>a</sup>	*	*	11,9 <sup>a</sup>	<b>32,7<sup>a</sup></b>	<b>48,3<sup>a</sup></b>	2,93 <sup>a</sup>	<b>38,4<sup>a</sup></b>	0,67 <sup>a</sup>	0,25 <sup>a</sup>	15,9 <sup>a</sup>	*	5,43 <sup>a</sup>	<b>4,29<sup>a</sup></b>	4,2 <sup>a</sup>	*	2,05 <sup>a</sup>	<b>17,4<sup>a</sup></b>	9,32 <sup>a</sup>	6,62 <sup>a</sup>	<b>192<sup>a</sup></b>	15,2 <sup>a</sup>

Ren ve arkadaşlarının Shanghai, Çin’de yaptıkları bir çalışmalarında, yurt, ofis ve laboratuvar da bulunan 27 bilgisayarın fanlarından alınan toz örneklerinde PAH derişimlerine bakmışlar, Toz örneklerdeki PAH derişimleri sırasıyla; 8.22µg/g ila 42.04µg/g arasında değişmekte olup derişimleri en yüksek olan PAH’lar; BbF, BgP, DbA, BaP olarak bulunmuştur. Ayrıca sigara içilen ortamlarda ki PAH derişimleri diğer odalardakilerden 1,35-2,87 kat daha fazla olarak bulunmuştur. Bu örneklerle karşılaştırılmak için altı tane de pencere önünden toz örnekleri alınmıştır. Yapılan analizlerde bu örneklerdeki PAH derişimlerinin bilgisayarlardan alınan örneklerden daha düşük olduğu bulunmuştur. Bunun sebebinin bilgisayarda bulunan plastik parçalarının ısınması sonucu PAH açığa çıkabileceğini ve bu parçalar üzerinde birikebileceğini yorumunu yapmışlardır (Ren ve ark., 2006).

Esen ve Kayıkçı’nın (2017) Temmuz – Aralık (2014) ayları arasında yapmış oldukları çalışmada, Bursa’da ki on iki farklı evden toplanan örnekler de Poliaromatik hidrokarbonların konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. PAH konsantrasyonu yazın; mutfak ve oturma odası iç ortam havasında sırasıyla 22±28, 20±17 ng/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiş olup, Sonbahar da ise; mutfak ve oturma odası için sırasıyla 21±10, 27±19 ng/m<sup>3</sup> konsantrasyonların da bulunmuştur. Esen ve Kayıkçı (2017) sonuç olarak; çocukların kansere yakalanma oranının yetişkinlere göre, yaz mevsimine nispeten sonbahar mevsiminde yaklaşık iki buçuk kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. PAH kirletici kaynaklarının ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkmış olduğu tespit edilmiştir.

Uçucu organik bileşiklerin kronik ve akut sağlık etkileri üzerine yapılan çalışmalarda, UOB’lerin düşük dozlu olanlarının astıma ve diğer bazı solunum yolu hastalıklarına neden olduğu, İsveç’te gerçekleştirilen bir araştırmada da UOB’lara maruz bırakılan 20 ila 45 yaş aralığında 88 astım hastasında nefes darlığı şikayetlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir (Leovic ve ark., 1998). Yüksek konsantrasyonlarda ki UOB’ların ise merkezi sinir sistemi üzerinde narkotik etki yaptığı bulunmuştur (Raiyani ve ark., 1993). Yapılan başka bir araştırma da 8 µg m<sup>-3</sup> konsantrasyondaki UOB’a maruz kalan hastalarda soluk borusu mukozasında bozulmalar görülmüştür (Breysse, 1984). Farklı bir çalışmada da yüksek dozdaki UOB’ların sinir sistemine ait fonksiyonlarda bozulmalara neden olduğu görülmüştür (Molhave, 1991). Deneysel bir çalışma sonunda, 25 µg m<sup>-3</sup> konsantrasyona ve 22 farklı uçucu organik bileşiğe maruz kalan bireylerde yorgunluk, uyuşukluk ve baş ağrısı şikayetleri görülmüştür (Burton, 1997). Toluene gibi bazı UOB’lerin 188 µg m<sup>-3</sup> seviyelerine ulaştığında uyuşuk, zihinsel karışıklık, baş dönmesi gibi belirtiler verdiği, ilerleyen zamanlar da şikayetlerin kasılmalara, komaya kadar gittiği ve 35000 µg m<sup>-3</sup>’ü geçen konsantrasyonlarda ise ölüme sebep olduğu görülmüştür (Lee ve ark., 2001). Deneysel hayvanları üzerinde yapılan araştırmalara göre, benzen, vinil klorür, p-dikloro-benzen, kloroform, etilen dibromür, metil klorür ve karbon tetra klorür 1x10<sup>-6</sup> konsantrasyona ulaştığın da kanser tehlikesini minimum on kat arttırmaktadır (Otto ve ark., 1992).

Mevsimsel olarak değerlendirdiğimizde; Kasım ayında okunan sonuçlarla Mart ayında okunan sonuçlara istatistiksel olarak baktığımızda anlamlı bir fark görülmemektedir ( $p>0.05$ ). İstasyonları birbiri içerisinde değerlendirdiğimizde de Ekim-Kasım ayında okunan 24 PAH bileşinde istasyonlar arası önemli bir fark yoktur. Şubat- Mart aylarında da istasyonlar arasında yine önemli bir fark görülmemiştir ( $p>0.05$ ). Ekim-Kasım 2018 ve Şubat-Mart 2019 konsantrasyonlarına istasyon bazında baktığımızda en yüksek değerler koyu işaretle gösterilmiştir. Mesela her iki mevsimde de Naftalin' de Kumyalı'da, Benzen de Sanayi, Toluen de Çıtlakkale istasyonlarında en yüksek değerler okunmuştur. Aradan dört ay geçmesine karşın yine aynı istasyonlarda yüksek çıkması da dikkat çekicidir. İki mevsimde de DBCHM sadece Çıtlakkale' de, DCHB'de Sanayi istasyonun da okunmuştur. TCHP'de en yüksek konsantrasyon Merkez de çıkmıştır. Genel itibarı ile baktığımızda en yüksek konsantrasyonlar Çıtlakkale ve Sanayi istasyonlarında bulunmuştur.

Yapılan tüm çalışmalara baktığımızda bizim çalışmamızla benzerlik gösterdiği görülmüştür. Mutfaklarda ki pişirmenin sürekli devam etmesi, şehirde hem doğal gaz hem kömür kullanımının birlikte olması nedeniyle rüzgâr taşınımı ile iç ortamın etkilenebileceği gibi faktörler de göz önüne alındığında analiz sonuçlarında istatistik açıdan anlamlı bir farkın çıkmamasının normal olacağı düşüncesindeyiz. Bu çalışmanın Giresun ilinin tamamıyla doğal gaza döndükten sonra ve her mevsim analizlerin tekrarlanması iki veri arasında ki gerçekleri ortaya serecektir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

İç ortamda yaptığımız analiz sonuçları göstermiştir ki; sonbahar sonu (Ekim-Kasım 2018) elde edilen sonuçlarla kışın sonu (Şubat-Mart) elde edilen konsantrasyon değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Fakat kış sonu değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Sağlık ve Güvenlik önlemleri hakkında ki Yönetmelikte Benzene mesleki maruziyet sınır değeri  $3,25 \text{ mg/m}^3$  olarak verilmiştir. Okuduğumuz değerler ise yüksektir. Benzenin en yüksek konsantrasyonu sanayi istasyonunda çıkmıştır. Naftalinin mutfakta ki en yüksek değeri Kumyalı istasyonun da tespit edilmiştir. Maruziyet sınır değeri naftalin için  $50 \text{ mg/m}^3$  olduğundan bulunan değerler düşük çıkmıştır.

İstatistiksel olarak baktığımızda hem istasyonlar arasında hem de mevsimsel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $p>0.05$ ). Bu çalışmanın uzun dönem de yapılmasının daha anlamlı olacağı ve bizim çalışmamızda üç ay geçmesine rağmen okunan değerlerin birbirine yakın olması da dikkat çekicidir. Dört mevsim okuma yapıldığı takdirde daha anlamlı sonuçlar elde edilebileceği düşüncesindeyiz. Ayrıca gıda pişiriminde kızartmadan çok haşlama, buharda pişirme gibi yöntemlerle gıdaların pişirilmesi ve kullanılan yağların da ısıl işlemden geçirilmiş yağlar olmamasına dikkat edilmesi gerektiği ve insanların poliaromatik hidrokarbonlara maruz kalma şekli ile ilgili bilgilendirmelerin yapılması öngörülmektedir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma Giresun Üniversitesi BAP birimi tarafından FEN BAP-A-230218-11 projesi ile desteklenmiştir.

## **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## **Kaynaklar**

- Alver E., Demirci A., Özçimder M., (2012). Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 3 (1): 45-5.
- ATSDR, (1994). Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH): update. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1995). Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Atlanta (GA): Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA.
- Breyse Pa. (1984). Formaldehyde levels and accompanying symptoms associated with individuals residing in over 1000 conventional and mobile homes in the state of Washington. *Indoor Air*. 3:403-408,
- Burton Bt. (1997). Volatile organic compounds. *Indoor Air Pollution and Health*. Marcel Dekker, New York.
- Cheng, H., Deng, Z., Chakraborty, P., Liu, D., Zhang, R., Xu, Y., Luo, C., Zhang, G., Li, J, (2013) A comparison study of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in three Indiana cities using puf disk passive air samplers, *Atmospheric Environment*, 73,16-21. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.03.001
- Danyi, S., Bose, F., Brasseur, C., Schneider, Y.J., Larondelle, Y., Pussemier, L. (2009). Analysis of EU priority polycyclic aromatic hydrocarbons in food supplements using high performance liquid chromatography coupled to an ultraviolet, diode array or fluorescence detector. *Analytica Chimica Acta*, 633, 293–699.
- EPA, US Environmental Protection Agency (EPA), (1999). Compendium Method TO-13A, Cincinnati, OH, USA.
- Esen, F., Kayıkçı, G. (2017). İç ve dış ortam hava örneklerindeki PAH'ların İncelenmesi: Bursa Örneği. *Uludağ Üni. Müh. Fak. Dergisi*, Cilt 22, Sayı 3. DOI:10.17482/uumfd.331620.

- Gaga, E.O., Ari, A., (2011). Gas-Particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an urban traffic site in Eskişehir, Turkey, *Atmospheric Research*,99,207-216. doi:10.1016/j.atmosres.2010.10.013.
- Krugly, E., M. D. (2013) Characterization of particulate and vapor phase polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor air of primary schools, *Atmospheric Environment*, 82, 298-306. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.042
- Lee Sc, Lam S, Fai Hk. (2001). Characterization of UOBs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. *Build. Environ.* 36:837-842.
- Leovic Kw, Whitaker Da, Norheim C., Sheldon Ls. (1998). Evaluation of test method for measuring indoor air emission from dry-process photocopiers. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 48:915-923.
- Martorell, I., Perelló, G., Martí-Cid, R., Castell, V., Juan M.Llobet, J.M., Domingo, J.L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods and estimated PAH intake by the population of Catalonia, Spain: temporal trend. *Environment International*, 36, 424–432.
- Molhave L. (1991). Indoor climate, air pollution and human comfort. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 1(1): 63-81.
- Otto D, Hundell H, House D, Molhave L, Counts W. (1992). Exposure of humans to a volatile organic mixture. I. Behavioural assessment. *Archives of Environmental Health*. 47(1):23-30.
- Raiyani, C.V., Shah, S.H., Desai, N.M., Venkaiah, K., Patel, J.S., Parikh, D.J.,Kashyap, (1993). “Characterization and problems of indoor pollution due to cooking stove smoke,” *Atmos. Environ.*, vol. 27A (11), pp. 1643–1655.
- Robinson, J., Nelson, WC. (1995) National human activity pattern survey data base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.
- URL-1: <https://mgm.gov.tr/?il=Giresun> web adresinden 11.06.2018 tarihinde erişildi.
- URL-2: <https://mgm.gov.tr/?il=Giresun> web adresinden 20.08.2019 tarihinde erişildi.
- URL-3: <http://www.agilent.com/chem/store> web adresinden 06.02.2020 tarihinde erişildi.
- Wang, X.Y., Li, Q.B., Luo, Y.M., Ding, Q., Xi, L.M., Ma, J.M., Li, Y., Liu, Y.P., Cheng, C.L. (2010). Characteristics and sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Shanghai, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165, 295–305.
- World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe. (1987). “Aromatic hydrocarbons (PAHs), In: Air Quality Guidelines for Europe”.
- Y. Ren, T. Cheng, and J. Chen, (2006). Polycyclic aromatic hydrocarbons in dust from computers: one possible indoor source of human exposure. *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 36, pp. 6956–6965, Nov.
- Zhang, J.L.G., Li, X.D., Qi, S.H., Liu, G.Q., Peng, X.Z. (2006). Source seasonality of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in subtropical city, Guangzhou, South China. *Science of the Total Environment*, 355, 145–155.



## The removal of foodborne pathogen biofilms with the treatment of ultrasound and/or organic acid

Emel ÜNAL TURHAN<sup>1\*</sup>, Süleyman POLAT<sup>2</sup>

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of ultrasound and/or organic acids against *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* biofilms on microplates. In the inactivation trials, pathogen biofilms formed on microplates were exposed to 2% organic acid (acetic, citric, malic and lactic acid) and/or ultrasound for 10, 30 and 60 minutes. Biofilm detachment effect of treatment with US and/or organic acid was tested by microplate method based on measuring of optical density. In this study, the removal of foodborne pathogen biofilms varied depending on the treatment method (single or combined), the treatment time and the type of organic acid ( $P<0.05$ ). The combined treatment with organic acid and ultrasound created additional biofilm detachment. 60 min ultrasound treatment with organic acids caused the highest removal of *E. coli* (77%) and *L. monocytogenes* (70%) biofilms. Lactic acid and malic acid among organic acids were the most effective against both of pathogen biofilms on microplates. With the increasing treatment time, the greater biofilm detachment was observed on microplates. The combination treatment of organic acid and ultrasound ensured safe and more effective decontamination against pathogen biofilms on microplates according to single treatment. These findings indicate that ultrasound treatment combined with organic acids can successfully be applied as an environmentally friendly biofilm detachment technique in food industry.

**Keywords:** Biofilm, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, Organic acid, Ultrasound.

## Ultrason ve/veya organik asit muamelesiyle gıda kaynaklı patojen biyofilmlerin uzaklaştırılması

### Öz

Bu çalışmanın amacı, mikropklardaki *Escherichia coli* ve *Listeria monocytogenes* biyofilmlerine karşı ultrason ve/veya organik asitlerin etkisini araştırmaktır. İnaktivasyon denemelerinde, mikropklarda oluşturulan patojen biyofilmler 10, 30 ve 60 dakika boyunca %2 oranında organik asit (asetik asit, sitrik asit, malik asit ve laktik asit) ve/veya ultrasona maruz bırakılmıştır. Ultrason ve/veya organik asitle muamelelenin biyofilm ayırma etkisi optik yoğunluk ölçümüne dayalı mikropklak yöntemiyle test edilmiştir. Bu çalışmada, gıda kaynaklı biyofilmlerin uzaklaştırılması muamele yöntemine (tek veya kombine), muamele süresine ve organik asit türüne bağlı olarak değişmiştir ( $P<0.05$ ). Organik asit ve ultrason ile kombine muamele daha fazla biyofilm ayrılması yaratmıştır. 60 dakika organik asitli ultrason muamelesi en yüksek *E. coli* (%77) ve *L. monocytogenes* (%70) uzaklaştırmasına neden olmuştur. Organik asitler arasında laktik asit ve malik asit, mikropklaklar üzerindeki patojen biyofilmlerin her ikisine karşı da en etkilidir. Artan muamele süresiyle mikropklaklar üzerinde daha çok biyofilm ayrılması gözlenmiştir. Organik asit ve ultrason kombinasyon muamelesi, tekli muameleye göre mikropklardaki patojen biyofilmlere karşı daha güvenli ve etkili dekontaminasyon sağlamıştır. Bu bulgular organik asitlerle kombine edilen ultrason muamelesinin gıda endüstrisinde çevre dostu bir biyofilm ayırma tekniği olarak başarılı bir şekilde uygulanabileceğini gösterir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyofilm, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, Organik asit, Ultrason.

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata University, Department of Food Technology, Faculty of Kadirli Applied Sciences, Osmaniye, Turkey, emelunal@osmaniye.edu.tr

<sup>2</sup>Çukurova University, Department of Food Engineering, Faculty of Agriculture, Adana, Turkey, polats@cu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0284-574X> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2112-3136>

## 1. Introduction

*Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* are important foodborne pathogens responsible for various outbreaks. Especially, biofilms of these pathogens are seen as a challenge for food industry. Biofilm is defined as the community that microorganisms form by attaching to each other or to surface surrounded by self-produced extracellular polymeric substances which protect bacteria against adverse conditions (Rodriguez et al., 2010). *L. monocytogenes* and *E. coli* strains may attach to various biotic (carcasses, fruits, vegetables, meat and dairy products) and abiotic (stainless steel, teflon, glass, polystyrene, polypropilene, PVC) surfaces. The presence of biofilm in food processing plants or products may not only lead to food-borne outbreaks but also financial losses. Therefore food companies and researchers focused on effective and safety control methods for biofilm inactivation (Galie et al., 2018). Biofilm matrix provides increased resistance to bacteria and protects these bacteria against antimicrobial substances (Yuan et al., 2021). Various physical and chemical methods regarding biofilm detachment have been performed until now. Novel approach regarding biofilm detachment is environmentally friendly inactivation treatment combined with ultrasound. In particular, there is a recent trend towards organic acid treatment based ultrasound for disinfection of various surfaces (Jose et al., 2014a; Srey et al., 2014).

Organic acids are generally recognized as safe (GRAS). The main organic acids used in food industry for the aim of decontamination are lactic acid, acetic acid, citric acid, malic acid and peracetic acid. (Lapena et al., 2019; Lepaus et al., 2021; Meireles et al., 2016). Organic acids disrupt cell function as a result of the diffusion across microbial cell membranes (Cho and Ha, 2021). Although organic acids as environmentally friendly sanitizers are often applied in the food industry, limited penetration and diffusion of organic acids in the biofilm structure make them hard to inactivate the inner cells because of the presence of exopolysaccharide as a protective layer (Amrutha et al. 2017; Yuan et al., 2021). Considering that these issues, as a recent and safety biofilm detachment approach, organic acid treatment may be combined with US treatment in order to enhance penetration and diffusion of organic acids in the biofilm structure. Ultrasound technique has mostly been applied for the decontamination of food and food processing area surfaces. The cavitation effect from ultrasound processing are mainly responsible for microbial cell death. However, the other inactivation mechanism of ultrasound is related to production of reactive compounds as peroxide hydrogen. Ultrasound was applied alone and with combined other inactivation methods for the decontamination of various foods. There is an increasing interest in ultrasound since it also plays an important role as a green novel technology in the environment sustainability. On the other hand, further studies are required to use ultrasound technology for the aim of microbial inactivation in food industry (Bilek and Turantaş, 2013; Jose et al., 2014b).

Until now, studies have mostly been carried out in order to inactivate foodborne pathogens with the use of chemical disinfectants (chlorine solutions, ethanol, hydrogen peroxide etc.), but there are limited studies on pathogen biofilm inactivation and also the use of environmentally friendly decontamination methods (Jose et al., 2012; Lapena et al., 2016; Yuan et al., 2021). In particular, safe and effective inactivation methods have been suggested for the removing of biofilms that are more robust to antimicrobial substances. Therefore, researchers have recently focused on the combination treatment of ultrasound with organic acids as a hurdle approach for the purpose of biofilm detachment. The aim of this study is to remove *E. coli* and *L. monocytogenes* biofilms on microplates with ultrasound and/or organic acids.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Chemicals and Bacterial cultures**

Various organic acids were used as sanitizers to detach pathogen biofilms in microplates. These organic acids are 2% (w/v) citric acid (Sigma-Aldrich, Austria), 2% (v/v) lactic acid (Sigma-Aldrich, Austria), 2% (w/v) malic acid (DL-malic acid 99.0%) and 2% (v/v) acetic acid (Merck-Germany). Stock cultures of *E. coli* and *L. monocytogenes* were stored frozen at -20 °C and were prepared from 700 µL overnight culture in Tryptic Soy Broth (TSB; Difco, Becton Dickinson, Sparks, MD, USA) supplemented with 300 µL 87% glycerol stock. Cells from stock were firstly streak plated on Tryptic Soy Agar (TSA; Difco) plate and grown for 24 hours at 37 °C. To use in the experiments related to biofilm formation and inactivation, one single colony was taken from the plate, transferred into 10 ml TSB and incubated overnight (18-22 hours) at 37 °C (Cui et al., 2018; Srey et al., 2014).

### **2.2. Biofilm formation on microtiter plates**

Microplate method was used for the biofilm formation. 200 µl of TSB that contain 1% overnight culture of *L. monocytogenes* or *E. coli* were added to each well of a 96-well plate. Microplates were incubated for 24 hours at 37 °C. The medium was removed and the biofilm was washed three times with 250 µL of phosphate buffered saline (PBS). Subsequently biofilm cells were stained with 250 µL 0.1% crystal violet for 30 min and washed thrice with 250 µL water to remove unbound crystal violet. After drying, attached crystal violet was dissolved in 250 µL absolute ethanol and absorbance was measured at 595 nm (Elisa Microplate Reader, Rayto RT-6000) (Amrutha et al., 2017; Bang et al., 2017).

### 2.3. Biofilm inactivation with the treatment of US and organic acids

Overnight (18 h) grown cultures at 37 °C were used to inoculate (1%) 96-well polystyrene microtiter plates containing 200 µL TSB incubated at 37 °C for 24 hours. The medium was removed and the biofilm was washed once with 250 µL of PBS. Subsequently, 250 µL of treatment solutions (organic acid and PBS) were added to each well and these microplates were subjected to single and combined treatments for 10, 30 and 60 min. Thus, a total of three different inactivation trials were conducted: I. Single organic acid treatment, II. Single US treatment, and III. Combined treatment of US and organic acid. For single organic acid treatment (I), microplates with organic acid were stable placed on a flat surface to remain stable and left at 18 °C for 10, 30 and 60 min. Trials with ultrasound were performed in ultrasound bath (35 kHz frequency, a power of up to 380 W, Bandelin Sonorex, RK 1028 H-Germany). For single US treatment (II), PBS was used as a treatment solution. PBS alone has no inactivation effect and thus wells in microplates were filled with PBS. Microplates with PBS were meticulously placed on US bath and exposed to US at 18 °C for 10, 30 and 60 min. For combined treatment (III), microplates with organic acid (2%) were meticulously placed on US bath and exposed to US at 18 °C for 10, 30 and 60 min. After exposure, the biofilms were washed once with 250 µL PBS by pipetting rigorously. Subsequently biofilm cells were stained with 250 µL 0.1% crystal violet for 30 min and washed thrice with 250 µL water to remove unbound crystal violet (Figure 1). After drying, attached crystal violet was dissolved in 250 µL absolute ethanol and absorbance was measured at 595 nm (Elisa Microplate Reader, Rayto RT-6000) (Amrutha et al., 2017; Bang et al., 2017; Srey et al., 2014).

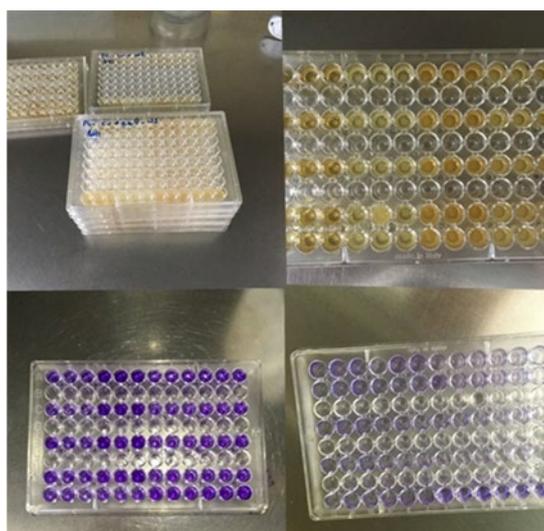


Figure 1. Some processing steps related with microplate method

## 2.4. Statistical analysis

All statistical analysis were conducted by SPSS version 20.0 (SPSS Inc., USA) statistical package. The values are given as mean  $\pm$  standard deviation. The results were subjected to analysis of variance, and significant differences were determined by Duncan's multiple comparison tests ( $P < 0.05$ ).

## 3. Findings and Discussion

In this study, both of pathogen bacteria exhibited ability of biofilm formation on microplates. According to measurement of absorbance at 595 nm, optical density of *L. monocytogenes* and *E. coli* biofilms was 0.70 and 0.94, respectively. Then, the plates containing these biofilms were exposed to US or/and organic acid treatments for 10, 30 and 60 minute and, which caused detachment of pathogen biofilms in plates.

Table 1 shows results about the effect of treatment solution and time on *E. coli* biofilm detachment. The efficacy of *E. coli* biofilm detachment varied according to organic acid type and treatment time ( $P < 0.05$ ). *E. coli* biofilm detachment obtained with 10 min treatment was statistically different from that with 30 and 60 min treatment. The most effective organic acids on *E. coli* biofilm detachment were found to be citric acid, lactic acid and malic acid for 10, 30 and 60 min treatment, respectively. In the trial of the single organic acid treatment, the detachment effect of treatment solution on *E. coli* biofilm was significant at 10 and 30 min except at 60 min. Differently, in the trial of the combined treatment with US and organic acids, treatment solution produced significant detachment on *E. coli* biofilm at 10 and 60 min ( $P < 0.05$ ). In the combined treatment, organic acids causing the highest biofilm removal were found to be citric acid (OD<sub>595</sub> = 0.312), lactic acid (OD<sub>595</sub> = 0.251) and malic acid (OD<sub>595</sub> = 0.212) for 10, 30 and 60 min treatments, respectively. However, there are no significant difference between malic acid and lactic acid treatment for all treatment times. Additionally, the most effective detachment of *E. coli* biofilm was obtained on plates exposed to malic acid or lactic acid solution with 60 min US treatment.

Table 1. *E. coli* biofilm detachment in microplates

Treatment time (min)	Treatment solution (2%)	Absorbance (OD <sub>595</sub> ) after treatment without US	Absorbance (OD <sub>595</sub> ) after treatment with US
10	Acetic acid	0.435 $\pm$ 0.011 <sub>b</sub> <sup>A</sup>	0.405 $\pm$ 0.049 <sub>a</sub> <sup>AB</sup>
	Malic acid	0.365 $\pm$ 0.007 <sub>c</sub> <sup>CDE</sup>	0.414 $\pm$ 0.005 <sub>a</sub> <sup>CD</sup>
	Citric acid	0.315 $\pm$ 0.008 <sub>d</sub> <sup>BC</sup>	0.312 $\pm$ 0.065 <sub>b</sub> <sup>AB</sup>
	Lactic acid	0.355 $\pm$ 0.030 <sub>c</sub> <sup>BCD</sup>	0.306 $\pm$ 0.041 <sub>b</sub> <sup>CD</sup>
	PBS	0.480 $\pm$ 0.018 <sub>a</sub> <sup>A</sup>	0.466 $\pm$ 0.028 <sub>a</sub> <sup>A</sup>

30	Acetic acid	$0.374 \pm 0.019_a^B$	$0.316 \pm 0.150_a^{CD}$
	Malic acid	$0.303 \pm 0.017_b^{DE}$	$0.301 \pm 0.014_a^{CD}$
	Citric acid	$0.330 \pm 0.009_{ab}^{BCDE}$	$0.267 \pm 0.055_a^{DE}$
	Lactic acid	$0.294 \pm 0.035_b^E$	$0.251 \pm 0.049_a^{DE}$
	PBS	$0.370 \pm 0.054_a^{BC}$	$0.376 \pm 0.093_a^{BC}$
60	Acetic acid	$0.363 \pm 0.045_a^{BC}$	$0.263 \pm 0.009_{ab}^{DE}$
	Malic acid	$0.292 \pm 0.013_a^E$	$0.212 \pm 0.022_c^E$
	Citric acid	$0.328 \pm 0.040_{ab}^{BCDE}$	$0.244 \pm 0.015_{abc}^{DE}$
	Lactic acid	$0.319 \pm 0.048_a^{BCDE}$	$0.217 \pm 0.030_{bc}^E$
	PBS	$0.362 \pm 0.035_a^{BC}$	$0.282 \pm 0.037_a^{DE}$

The results are shown as standard deviations  $\pm$  average. <sup>A,B,C,D,E</sup> The different uppercase letters in the same column indicate a significant difference in the Duncan test. <sup>a,b,c,d</sup> Lowercase letters were used to indicate the difference between applications made in equal durations in the same column ( $P < 0.05$ ).

Table 2 gives results about the effect of US treatment on *E. coli* biofilm detachment. The data in Table 2 are the average results of 10, 30 and 60 minutes treatments. The detachment effect of ultrasound was found significant for samples treated with acetic acid, citric acid and lactic acid ( $P < 0.05$ ). As seen from the present results, the detachment effect of ultrasound was insignificant ( $P > 0.05$ ) for samples treated with malic acid and PBS. Ultrasound processing showed its antibiofilm effect most with lactic acid solution ( $OD_{595} = 0.26$ ). On the other hand, the lowest biofilm detachment ( $OD_{595} = 0.37$ ) effect of US was observed in microplates treated with PBS solution. According to our results, ultrasound treatment created additional inactivation effect against *E. coli* biofilms on plates. These findings indicated that combined treatment was more effective for the removal of biofilm.

Table 2. The effect of ultrasound on *E. coli* biofilm detachment

Treatment solution (2%)	Absorbance ( $OD_{595}$ ) after treatment without US	Absorbance ( $OD_{595}$ ) after treatment with US
PBS	$0.40 \pm 0.07^a$	$0.37 \pm 0.09^a$
Acetic acid*	$0.39 \pm 0.04^a$	$0.33 \pm 0.07^{ab}$
Malic acid	$0.32 \pm 0.02^b$	$0.31 \pm 0.09^b$
Citric acid*	$0.32 \pm 0.04^b$	$0.27 \pm 0.05^{ab}$
Lactic acid*	$0.32 \pm 0.04^b$	$0.26 \pm 0.05^b$

The results are shown as standard deviations  $\pm$  average. <sup>a,b</sup> The different lowercase letters in the same column indicate a significant difference in the Duncan test. \* indicate a significant difference according to T-test ( $P < 0.05$ ).

Table 3 presents results about the effect of treatment solution and time on *L. monocytogenes* biofilm detachment. *E. coli* biofilm detachment changed depending on organic acid type and treatment time. The effect of organic acid type on *L. monocytogenes* biofilm detachment was insignificant ( $P > 0.05$ ) except 30 min single organic acid treatment ( $P < 0.05$ ). In the trial of 30 min single organic acid treatment, citric acid among organic acids achieved the highest *L. monocytogenes* biofilm detachment ( $OD_{595} = 0.286$ ). Similar to our results about *E. coli* biofilm detachment, the

effect of treatment time on *L. monocytogenes* biofilm detachment was significant ( $P < 0.05$ ) for the both trials (single organic acid treatment and combined treatment). With the increase of treatment time, the removal of *L. monocytogenes* biofilm increased. The highest *L. monocytogenes* biofilm detachment was observed with 60 min combined treatment of US and malic acid ( $OD_{595} = 0.194$ ) or lactic acid ( $OD_{595} = 0.205$ ).

Table 3. *L. monocytogenes* biofilm detachment in microplates

Treatment time (min)	Treatment solution (2%)	Absorbance ( $OD_{595}$ ) after treatment without US	Absorbance ( $OD_{595}$ ) after treatment with US
10	Acetic acid	$0.411 \pm 0.155_{a}^{AB}$	$0.257 \pm 0.042_{a}^{BC}$
	Malic acid	$0.349 \pm 0.013_{a}^{BCD}$	$0.220 \pm 0.005_{a}^{CDE}$
	Citric acid	$0.323 \pm 0.036_{a}^{BCD}$	$0.243 \pm 0.033_{a}^{CD}$
	Lactic acid	$0.358 \pm 0.037_{a}^{ABCD}$	$0.298 \pm 0.038_{a}^{B}$
	PBS	$0.446 \pm 0.046_{a}^{A}$	$0.342 \pm 0.042_{a}^{A}$
30	Acetic acid	$0.349 \pm 0.003_{b}^{BCD}$	$0.208 \pm 0.006_{b}^{DE}$
	Malic acid	$0.330 \pm 0.033_{bc}^{BCD}$	$0.214 \pm 0.006_{b}^{CDE}$
	Citric acid	$0.286 \pm 0.035_{c}^{D}$	$0.215 \pm 0.039_{b}^{CDE}$
	Lactic acid	$0.331 \pm 0.009_{bc}^{BCD}$	$0.227 \pm 0.004_{b}^{CDE}$
	PBS	$0.402 \pm 0.036_{a}^{ABC}$	$0.294 \pm 0.003_{a}^{B}$
60	Acetic acid	$0.308 \pm 0.030_{a}^{CD}$	$0.204 \pm 0.021_{b}^{DE}$
	Malic acid	$0.348 \pm 0.017_{a}^{BCD}$	$0.194 \pm 0.013_{b}^{E}$
	Citric acid	$0.302 \pm 0.024_{a}^{D}$	$0.194 \pm 0.024_{b}^{E}$
	Lactic acid	$0.328 \pm 0.038_{a}^{BCD}$	$0.205 \pm 0.009_{b}^{DE}$
	PBS	$0.363 \pm 0.013_{a}^{ABCD}$	$0.242 \pm 0.003_{a}^{CD}$

The results are shown as standard deviations  $\pm$  average. <sup>A,B,C,D,E</sup> The different uppercase letters in the same column indicate a significant difference in the Duncan test. <sup>a,b,c</sup> Lowercase letters were used to indicate the difference between applications made in equal durations in the same column ( $P < 0.05$ ).

Table 4 presents results about the effect of US treatment on *L. monocytogenes* biofilm detachment. The data in Table 4 are the average results of 10, 30 and 60 minutes treatments. The biofilm removal effect of ultrasound was found to be significant ( $P < 0.05$ ) in samples treated with all organic acid solutions except PBS solution. The combination treatments of organic acid and US caused higher *L. monocytogenes* biofilm detachment compared with single organic acid treatment. While *L. monocytogenes* biofilm detachment effect of ultrasound was obtained most with malic acid solution ( $OD_{595} = 0.209$ ), its lowest antibiofilm effect was observed with PBS solution ( $OD_{595} = 0.292$ ).

Table 4. The effect of ultrasound on *L. monocytogenes* biofilm detachment

Treatment solution (2%)	Absorbance ( $OD_{595}$ ) after treatment without US	Absorbance ( $OD_{595}$ ) after treatment with US
PBS	$0.404 \pm 0.047^a$	$0.292 \pm 0.048^a$

Acetic acid *	0.356±0.091 <sup>ab</sup>	0.223±0.035 <sup>b</sup>
Malic acid *	0.342 ±0.032 <sup>b</sup>	0.209±0.014 <sup>b</sup>
Citric acid *	0.304±0.032 <sup>b</sup>	0.217±0.035 <sup>b</sup>
Lactic acid *	0.339±0.030 <sup>b</sup>	0.243±0.046 <sup>b</sup>

The results are shown as standard deviations ± average. <sup>a,b</sup>The different lowercase letters in the same column indicate a significant difference in the Duncan test. \* indicate a significant difference according to T-test (P<0.05).

*L. monocytogenes* and *E. coli* are important foodborne pathogens capable of biofilm formation on food and food contact surfaces (Aryal and Muriana, 2019). Similarly, the present study confirms that *L. monocytogenes* and *E. coli* strains are adhered to microplates and form biofilm according to the results of optical density (OD<sub>595</sub> = 0.70 and 0.94, respectively). After the inactivation treatments, reduction in OD<sub>595</sub> values of *L. monocytogenes* and *E. coli* biofilms treated with US and organic acid was 0.50 and 0.73 unit, respectively. As seen from the present results, *E. coli* biofilm showed higher sensitivity to detachment treatments than *L. monocytogenes* biofilm. Gram-negative and Gram-positive bacteria such as *E. coli* and *L. monocytogenes* may exhibit different resistance mechanism. Gram-negative bacteria are more susceptible to low pH than Gram-positive bacteria (Ban et al., 2012). Ban et al. (2012) reported that lactic acid produced significant reductions of *L. monocytogenes* and *E. coli* biofilms on polyvinylchloride (PVC) and stainless steel coupons. In another study, after peracetic acid exposure to microplates containing *L. monocytogenes* biofilm, *L. monocytogenes* biofilm reduction was observed in microplates (Korany et al., 2018). In this study, single organic acid treatment was compared with the combination treatment of US and organic acid and both of treatment caused biofilm detachment for 60 min. Percentages of *E. coli* biofilm detachment were obtained maximum 69% with single organic acid treatment and 77% with the combination treatment. Percentages of *L. monocytogenes* biofilm detachment with single and the combination treatment were found to be maximum 58% and 70%, respectively. In the study of Borges et al. (2012), percentages of pathogen biofilm detachment from exposure to ferulic and gallic acids were reported between 20% and 40% for *E. coli* strains and 5 and 10% for *L. monocytogenes* strains on microplates. Combined treatments with US were applied for more effective or enhanced inactivation against foodborne pathogen biofilms (Bang et al., 2017, Francisco et al., 2017, Jose et al., 2014b, Zho et al., 2017). Ultrasound treatment facilitated penetration of organic acid into the biofilm matrix (Alenyorege et al., 2019). The penetration of the organic acids through microbial cell membrane is provided by the intense pressure gradients and cavitation phenomena from US (Lapena et al., 2019). This mechanism indicates that the application of US in order to remove pathogen biofilm is more essential compared with planktonic cell. Therefore, recent studies have been conducted in order to inactivate pathogen biofilms with the combination treatment of US and various antimicrobial agents such as organic acids, chlorine compounds, essential oils etc. (Torlak et al, 2013). As known from the present study, single ultrasound treatment (10 min) caused 51% biofilm detachment for both



strains (*E. coli* and *L. monocytogenes*). In a study about single ultrasound treatment, 5 min US caused approximately 40% detachment of *L. monocytogenes* biofilm on plastic food contact surface (Torlak et al., 2021). All these data confirms that the pathogen biofilm detachment varies depending on the treatment time, the type of organic acid and species of target microorganism (Lapena et al., 2019).

#### **4. Conclusions and Recommendations**

As a result of this study, the removal of biofilm varied depending on the type of organic acid, treatment time and inactivation method. Ultrasound created additional inactivation action on *L. monocytogenes* and *E. coli* biofilms. The highest *L. monocytogenes* and *E. coli* biofilm detachment was obtained with the combined treatment of US and malic acid or lactic acid for 60 min. However, the next studies should be conducted about biofilm inactivation on various food surfaces.

#### **Acknowledgements**

This research was supported by the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK, Project Number: 118O731) and Research Council of Osmaniye Korkut Ata University (Project Number: OKÜBAP-2019-PT2-002).

#### **Authors' Contributions**

Emel ÜNAL TURHAN: Designing the experiment, Performing the experiment, Collecting data, Conceptualization, Methodology, Investigation, Collecting data, Evaluating the data, Writing initial and original draft, Reviewing and editing the manuscript. Suleyman POLAT: Designing the experiment, Performing the experiment, Collecting data, Evaluating the data, Software and validation, Methodology, Reviewing and editing the manuscript.

#### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

#### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Alenyorege, E. A., Ma, H., Ayim, I., Lu, F. and Zhou, C. (2019). Efficacy of sweep ultrasound on natural microbiota reduction and quality preservation of Chinese cabbage during storage. *Ultrason Sonochemistry*, 59, 1-10.
- Amrutha, B., Sundar, K. and Shetty, P. H. (2017). Effect of organic acids on biofilm formation and quorum signaling of pathogens from fresh fruits and vegetables. *Microbial Pathogenesis*, 111, 156-162.
- Aryal, M. and Muriana P. M. (2019). Efficacy of commercial sanitizers used in food processing facilities for inactivation of *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, and *Salmonella* biofilms. *Foods*, 8, 1-14.
- Ban, G. H., Park, S. H., Kim, S. O., Ryu, S. and Kang, D. H. (2012). Synergistic effect of steam and lactic acid against *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* biofilms on polyvinyl chloride and stainless steel. *International Journal of Food Microbiology*, 157, 218-223.
- Bang, H. J., Park, S. Y., Kim, S. E., Rahaman, M. M. F. and Ha, S. D. (2017). Synergistic effects of combined ultrasound and peroxy acetic acid treatments against *Cronobacter sakazakii* biofilms on fresh cucumber. *LWT-Food Science and Technology*, 84, 91-98.
- Bilek, S. E. and Turantaş, F. (2013). Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. *International Journal of Food Microbiology*, 166, 155-162.
- Borges, A., Saavedra, M. J. and Simoes, M. (2012). The activity of ferulic and gallic acids in biofilm prevention and control of pathogenic bacteria. *Biofouling*, 28, 755-767.
- Cho, G. L. and Ha, J. W. (2021). Synergistic effect of citric acid and xenon light for inactivating foodborne pathogens on spinach leaves. *Food Research International*, 142, 1-9.
- Cui, H., Bai, M., Yuan, L., Surendhiran, D. and Lin, L. (2018). Sequential effect of phages and cold nitrogen plasma against *Escherichia coli* O157:H7 biofilms on different vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 268, 1-9.
- Francisco, C. A. I., Naves, E. A. A., Ferreira, D. C., Do, Rosario, D. K. A., Cunha, M. F. et al (2017). Synergistic effect of sodium hypochlorite and ultrasound bath in the decontamination of fresh arugulas. *Journal of Food Safety*, 38, 1-7.
- Galie, S., Gutiérrez, C. G., Miguélez, E. M., Villar C. J. and Lombó (2018). Biofilms in the food industry: Health aspects and control methods. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1-18.
- Jose, J. F. B., Medeiros, H. S., Bernardes, P. C. and Andrade, N. J. (2014a). Removal of *Salmonella enterica* Enteritidis and *Escherichia coli* from green peppers and melons by ultrasound and organic acids. *International Journal of Food Microbiology*, 190, 9-13.
- Jose, J. F. B. S., Andrade, N. J., Ramos, A. M., Vanetti, M. C. D. and Stringheta, P. C. (2014b). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45, 36-50.
- Jose, J. F. B. S. and Vanetti, M. C. D. (2012). Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and *Salmonella enterica* Typhimurium on cherry tomatoes. *Food Control*, 24, 95-99.
- Korany, A. M., Hua, Z., Green, T., Hanrahan, I., El-Shinawy, S. H. et al (2018). Efficacy of ozonated water, chlorine, chlorine dioxide, quaternary ammonium compounds and peroxy acetic acid against *Listeria monocytogenes* biofilm on polystyrene surfaces. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1-10.
- Lapeña, I. N., Lafarga, T., Viñas, I., et al (2019). Ultrasound processing alone or in combination with other chemical or physical treatments as a safety and quality preservation strategy of fresh and processed fruits and vegetables: A review. *Food Bioprocess Technology*, 12, 1452-1471.
- Lepaus, B. M., Rocha, J. S. and Jose, J. F. B. S. (2021). Organic acids and hydrogen peroxide can replace chlorinated compounds as sanitizers on strawberries, cucumbers and rocket leaves. *Food Science and Technology*, 40, 242-249.
- Meiros, A., Giaouris, E. and Simões, M. (2016). Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *Food Research International*, 82, 71-85.
- Rodriguez, N., Salgado, J. M., Cortes, S. and Dominguez, J. M. (2010). Alternatives for biosurfactants and bacteriocins extraction from *Lactococcus lactis* cultures produced under different pH conditions. *Letters in Applied Microbiology*, 51, 226-233.
- Srey, S., Park, S. Y. and Jahid, I. K. (2014). Reduction effect of the selected chemical and physical treatments to reduce *L. monocytogenes* biofilms formed on lettuce and cabbage. *Food Research International*, 62, 484-49.
- Torlak, E. and Sert, D. (2013). Combined effect of benzalkonium chloride and ultrasound against *Listeria monocytogenes* biofilm on plastic surface. *Letters in Applied Microbiology*, 57, 220-226.

- Yuan, L., Sadiq, F. A., Wang, N., Yang, Z. and He, G. (2021). Recent advances in understanding the control of disinfectant-resistant biofilms by hurdle technology in the food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61, 3876-3891.
- Zhao, X., Zhen, Z., Wang, X. and Guo, N. (2017). Synergy of a combination of nisin and citric acid against *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34, 2058-2068.

## Investigation Of Diabetes Data with Permutation Feature Importance Based Deep Learning Methods

Mehmet İsmail GÜRSOY<sup>1\*</sup>, Ahmet ALKAN<sup>2</sup>

### Abstract

Diabetes is a metabolic disease that occurs due to high blood sugar levels in the body. If it is not treated, diabetes-related health problems may occur in many vital organs of the body. With the latest techniques in machine learning technologies, some of the applications can be used to diagnose diabetes at an early stage. In this study, the data set from the laboratories of Medical City Hospital Endocrinology and Diabetes Specialization Center Al Kindy Training Hospital was used. The dataset consists of 3 different classes: normal, pre-diabetes and diabetes. The obtained diabetes dataset was classified using Long Short-Term Memory (LSTM), Convolutional Neural Network (CNN) and Gated Recurrent Unit (GRU) deep learning methods. The classification performance of each algorithm was evaluated with accuracy, precision, sensitivity and F score performance parameters. Among the deep learning methods, 96.5% classification accuracy was obtained with the LSTM algorithm, 94% with the CNN algorithm and 93% with the GRU algorithm. In this study, the Permutation Feature Importance (PFI) method was also used to determine the effect of features in the data set on classification performance. With this method, study reveals that the HbA1c feature is an important parameter in the used deep learning methods. Both the results obtained with the LSTM algorithm and the determination of the most important feature affecting the classification success reveal the originality of the study. It shows that the obtained results will provide healthcare professionals with a prognostic tool for effective decision-making that can assist in the early detection of the disease.

**Keywords:** Diabetes, Classification, Deep learning, Permutation importance feature.

## Diyabet Verilerinin Permütasyon Önem Özelliği Temelli Derin Öğrenme Yöntemleriyle İncelenmesi

### Öz

Diyabet, vücuttaki yüksek kan şekeri seviyesi nedeniyle meydana gelen metabolik bir hastalıktır. Tedavi edilmediği takdirde, vücudun birçok hayati organında diyabete bağlı sağlık sorunları meydana gelebilir. Makine öğrenme teknolojilerindeki son teknikler ile diyabet hastalığını erken bir aşamada teşhis edebilen uygulamalar kullanılabilir. Bu çalışmada Medical City Hastanesi Endokrinoloji ve Diyabet Uzmanlık Merkezi Al Kindy Eğitim Hastanesi laboratuvarlarından elde edilen veri seti kullanılmıştır. Veri seti, Normal, pre diyabet ve diyabet şeklinde 3 farklı sınıftan oluşmaktadır. Elde edilen diyabet veri seti Uzun-Kısa Vadeli Bellek (LSTM), Evrimsel Sinir Ağları (CNN) ve Geçitli Tekrarlayan Birim (GRU) derin öğrenme yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Her algoritmanın sınıflandırma başarımı; doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F skor başarımları parametreleri ile değerlendirilmiştir. Derin öğrenme yöntemlerinden, LSTM algoritmasıyla %96.5, CNN algoritmasıyla % 94 ve GRU algoritmasıyla %93 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca veri setindeki özelliklerin sınıflandırma başarımına etkisini belirlemek için Permütasyon önem özelliği yöntemi de kullanılmıştır. Bu yöntem ile HbA1c özelliğinin kullanılan derin öğrenme yöntemlerinde önemli bir parametre olduğu ortaya konulmuştur. Gerek LSTM algoritması ile elde edilen sonuçlar, gerekse sınıflandırma başarımına etki eden en önemli özelliğin tespiti çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçların sağlık çalışanlarına hastalığın erken tespitine yardımcı olabilecek etkin karar verme için prognostik araç sağlayacağını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Diyabet, Sınıflandırma, Derin öğrenme, Permütasyon önem özelliği.

<sup>1</sup>Adiyaman University, Electrical and Energy Department, Adiyaman, Turkey, mgursoy@adiyaman.edu.tr

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Electrical Electronics Engineering Department, Kahramanmaraş, Turkey., aalkan@ksu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2285-5160> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0857-0764>

## 1. Introduction

Diabetes is a chronic disease, caused by an inability to produce or use insulin effectively, resulting in serious health issues such as heart disease, (Battineni et al. 2019; Rajput and Khedgikar 2022). According to the International Diabetes Federation (IDF), there are approximately 463 million diabetics in the world in 2019. In adults the ages between 20 and 79, 1 in every 11 has diabetes. In addition, according to the IDF, it is estimated that 578 million adults in 2030 and 700 million adults in 2045 will (Makroum et al. 2022). Diabetes can generally be classified into 3 categories: Type 1 diabetes (T1D) occurs due to deficient insulin production. Type 2 diabetes (T2D) results from the body's ineffective use of insulin. Gestational diabetes occurs during pregnancy. This type of diabetes occurs as a result of changes in hormones during (Fazakis et al. 2021).

HbA1c is an important blood parameter that indicates the risk of diabetes complications. The HbA1c value  $< 6.0\%$  is for healthy people, and the HbA1c value between  $6.0\%$  and  $6.5\%$  is in people for pre-diabetes, which is characterized by blood sugar levels higher than normal but also called borderline diabetes (Karabiber and Savaş 2021; Rajput and Khedgikar 2022) and the HbA1c value is not high enough to be classified as diabetic. However, pre-diabetes cases lead to diabetes in the near future (Rajput and Khedgikar 2022).

Diagnosis or early diagnosis of diabetes depends on a doctor's intuition and experience. However, in some cases, it can lead to errors and excessive medical costs that affect the quality of service. The healthcare industry collects a large amount of healthcare-related data, but this data is not used effectively in undetected cases (Bhardwaj et al. 2022). As a result, it is thought that different advanced mechanisms and various software-based algorithms are required for automatic diagnosis and early detection of diseases with better accuracy. For example, the development of machine learning algorithms helps to process large amounts of data and extract the underlying data model that facilitates decision making (Er and Işık 2021).

In recent years, machine learning algorithms, especially deep neural networks, have been used for important applications in the field of health (Shishvan, Zois, and Soyata 2018). Machine learning algorithms can be modeled with nonlinear methods to identify people at risk. In addition, the importance of algorithm parameters in the model can be determined (Sadeghi et al. 2022).

Many machine learning algorithm techniques have been presented in the literature for diabetes classification. Most commonly used are Support Vector Machines (SVM) (Sisodia and Sisodia 2018; Tafa, Pervetica, and Karahoda 2015), Artificial Neural Networks (ANN) (Sun and Zhang 2019), Logistic Regression (LR) (Kumari, Kumar, and Mittal 2021; Qawqzeh et al. 2020), k-nearest neighbor (kNN) (Kandhasamy and Balamurali 2015), Random Forest (RF) (Kumari et al. 2021), Naive Bayes (NB) (Kumari et al. 2021; Sisodia and Sisodia 2018; Tafa et al. 2015), Decision Trees

(DT) (Sisodia and Sisodia 2018), CNN(Er and Işık 2021; Swapna, Soman, and Vinayakumar 2018), LSTM (Er and Işık 2021; Swapna et al. 2018), and GRU(Alhassan et al. 2018). Qawqzeh et al. (Qawqzeh et al. 2020) applied the LR technique for the classification of diabetes data. With 459 training and 128 test data, he achieved 92.3% classification accuracy in his proposed model. Tafa et al. (Tafa et al. 2015) used SVM and NB classification algorithms with a data set consisting of 402 patients taken from 3 different locations in Kosovo. It was classified with an accuracy of 95.52% with the SVM method and 94.52% with the NB method. Sisodia and Sisodia (Sisodia and Sisodia 2018) applied NB, SVM, and DT algorithms to the Pima Indians Diabetes dataset. The classification accuracy was 76.3% with the NB method, 65.1% with the SVM method and 73.82% with the DT method. Kumari et al. (Kumari et al. 2021) studied the Pima Indians Diabetes Dataset and applied NB, RF and LR methods. The accuracy was 74.12% with the NB method, 77.48% with the RF method, and 74.89% with the LR method. Swapna et al. (Swapna et al. 2018) used the CNN and CNN-LSTM methods to classify diabetes. It achieved 93.6% accuracy with the CNN algorithm and 95.1% with the CNN-LSTM algorithm. Er et al. (Er and Işık 2021) used deep learning-based CNN, LSTM, and CNN+LSTM methods for the classification of diabetes. In the proposed model, different training and testing rates were used and the highest accuracies were obtained with 80% training and 20% testing rates. In the classification results, 83.25% of the CNN method, 85.21% of the LSTM method and 86.45% of the CNN+LSTM methods were obtained. Alhassan et al.(Alhassan et al. 2018) King Abdullah International Research Centre Diabetes (KAIMRCD) dataset and LSTM and GRU methods were used. In the proposed method, it was classified with 97% accuracy.

In the literature, many machine learning algorithms have been proposed for diagnosing diabetes. In this study, classification with high accuracy rates with the proposed deep learning algorithms explains the importance of the study. In addition, it is thought that determining how much the input parameters will affect the result in the classification algorithms with the PFI method, will guide healthcare professionals in the right way about treatment.

In this study, it was aimed to classify diabetes patients using their medical characteristics as individuals. Three different class characteristics were used: diabetes, pre-diabetes, and no-diabetes. An accuracy rate of 96.5% was obtained with the LSTM method, one of the proposed deep learning algorithms. In addition, the importance of input features in deep learning algorithms was determined by using the PFI method. PFI method in LSTM, CNN and GRU methods and HbA1c feature were determined to be the most important feature in diabetes patient classification.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

The dataset used in this study was taken from the Mendeley dataset diabetes dataset. The dataset, published in July 2020, was obtained at the laboratories of Medical City Hospital and the Endocrinology and Diabetes Specialization Centre Al Kindy Training Hospital. The data were obtained from 535 female and 435 male individuals aged between 20-79 living in the city of Baghdad. The data were collected in the database by obtaining from the medical information and laboratory analyzes of the patients. (Ahlam 2020).

**Table 1.** Details of Diabetes dataset

Parameters	Min	Max	Mean	Std	Unit
Age	20	79	53,528	8,799241	
Urea	0,5	38,9	5,124743	2,935165	mg/dL
Creatinine Ratio	6	800	68,943	59,98475	μmol/L
HbA1c	0,9	16	8,28116	2,534003	mmol/L
Cholesterol	0	10,3	4,86282	1,301738	mmol/L
Triglycerides	0,3	13,8	2,34961	1,401176	mmol/L
HDL	0,2	9,9	1,20475	0,660414	mmol/L
LDL	0,3	9,9	2,60979	1,115102	mmol/L
VLDL	0,1	35	1,8547	3,663599	mmol/L
Body Mass Index	19	47,75	29,57802	4,962388	--

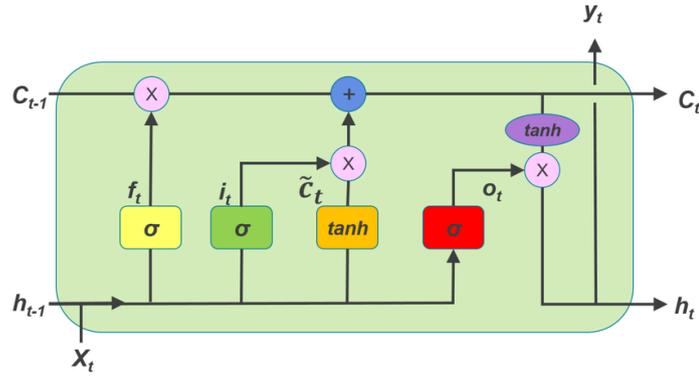
The database contains 1000 people data sets, 103 of whom are no-diabetes, 53 are pre-diabetes and 844 are diabetic. Table 1 shows the characteristics of different diabetes patients such as Age, Urea, Creatine Ratio, HbA1c, Cholesterol, Triglycerides, HDL, LDL, VLDL and Body Mass Index.

### 2.2. Methods

In this study, diabetes dataset from Mendeley dataset database is classified using deep learning algorithms LSTM, CNN and GRU methods. The effect of each feature in the data set on the classification result was determined by the PFI method.

#### 2.2.1. LSTM (Long Short Term Memory)

LSTM is a special type of Recurrent Neural Network (RNN) approach for modelling sequential data (Hochreiter and Schmidhuber 1997) developed by Hochreiter & Schmidhuber in the late 1990s.



**Figure 1.** LSTM model (Xiao and Yin 2019)

The LSTM architecture consists of sequential blocks that repeat each other, and as is shown in Figure 1. The LSTM structure typically has three layers: forget, input, and output. In the LSTM architecture, first of all,  $X_t$  and  $h_{t-1}$  information are used as inputs, and it is decided which information to delete. These operations are performed in the forget layer using  $f_t$  Equation (1) and sigmoid is used as the activation function.

$$f_t = \text{sigmoid}(W_{f,x} * X_t + W_{f,h} * h_{t-1} + b_f) \quad (1)$$

In the second step, the input layer, where new information will be determined, comes into play and firstly ( $i_t$ ) the information is updated with the sigmoid function using Equation (2). The tanh function is then used to identify the candidate information that will be used to create the new information with Equation (3).

$$i_t = \text{sigmoid}(W_{i,x} * X_t + W_{i,h} * h_{t-1} + b_i) \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \text{tanh}(W_{c,x} * X_t + W_{c,h} * h_{t-1} + b_c) \quad (3)$$

New information is created by Equation (4).

$$C_t = C_{t-1} * f_t + i_t * \tilde{C}_t \quad (4)$$

Equations (5) and (6) are then used in the output layer to obtain the output data.

$$o_t = \text{sigmoid}(W_{o,x} * X_t + W_{o,h} * h_{t-1} + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \text{tanh}(C_t) \quad (6)$$



The above-described procedure is iterative. The model learns weight parameters ( $W$ ) and bias parameters ( $b$ ) in a manner that reduces the difference between actual training data and LSTM output data (Ayata, Saraclar, and Ozgur 2017; Fischer and Krauss 2018; Sagheer and Kotb 2019).

In this study, a LSTM layer, consisting of 200 blocks was first created for the classification architecture. Four Dense layers were created to provide node transitions between layers and to connect neurons from the previous layer as input to the next layer. There are 100 neurons in the 1<sup>st</sup> Dense layer, 50 neurons in the 2<sup>nd</sup> Dense layer, 20 neurons in the 3<sup>rd</sup> Dense layer, and 3 neurons in the 4<sup>th</sup> Dense layer as the output classification layer. The probability of each class was obtained by using the SoftMax function, used in multiple classification problems, as an activation function in the 4<sup>th</sup> Dense layer.

### 2.2.2. Gated Recurrent Unit (GRU)

The GRU was first suggested by K. Cho et al. (Cho et al. 2014). GRU, is one of the types of LSTM model, was proposed to use less computational resources to achieve LSTM performance. The GRU has a simpler structure with only the update gate and reset gate (Figure 2) (Chen et al. 2022), compared to the LSTM model with three gates. The update gate is a combination of the enter and forget gates in the LSTM model. The reset gate is the gate responsible for forgetting previous information (Bişkin and Çifçi 2021).

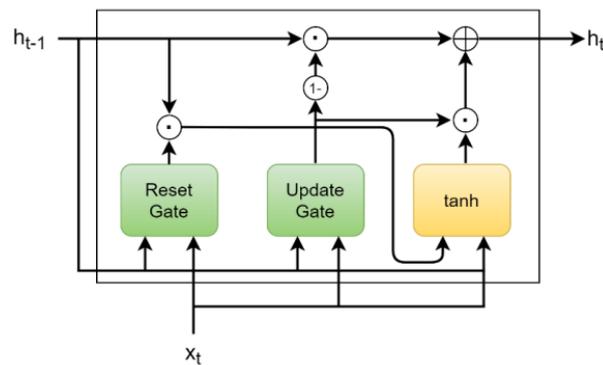


Figure 2. GRU model

In the GRU model, the update gate ( $u_t$ ) and reset gate ( $r_t$ ) can be calculated with Equations (7) and (8).

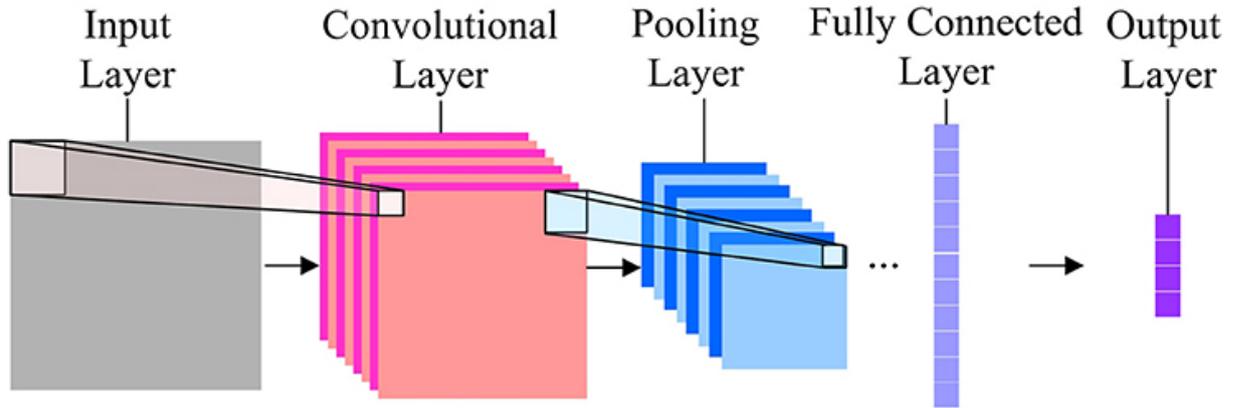
$$u_t = \text{sigmoid}(W_u[h_{t-1}, x_t] + b_u) \quad (7)$$

$$r_t = \text{sigmoid} (W_r[h_{t-1}, x_t] + b_r) \quad (8)$$

$W_u$  and  $W_r$  update and reset weight parameters.  $b_u$  and  $b_r$  parameters are bias values.

### 2.2.3. Convolution Neural Network (CNN)

CNN pattern classification, which is an effective tool for feature extraction in CNN data, is widely used in many areas such as image processing, sound processing and pattern recognition (Wang et al. 2017). CNN is similar to traditional ANN in that it consists of neurons that self-optimize through learning. As in the ANN model, each neuron performs operations by taking an input value. One of the biggest differences between CNN and other models is that the layers in it consist of neurons organized in three dimensions (height, width and depth) (O'Shea and Nash 2015). A CNN model generally consists of three main layers: the convolution layer, the pooling layer and the fully connected layer (Figure 3).



The Convolutional Layer: It is the core building block of the CNN model. It constitutes the main part of the computational load of the network. The primary purpose of the convolutional layer is to extract features from the input data. There is no connection between neurons in this layer. In addition, neurons in different layers are locally connected to each other with the weight sharing technique (Wang et al. 2017). During the convolution operation, the filter matrix slides across the height and width of the input dataset, performing the convolved multiplication, thus obtaining a two-dimensional representation. It is then passed through a user-defined activation function to generate a feature map with Equation (9).

$$y_j = f \left( \sum_{i \in M_j} x_i^{l-1} \otimes w_{i,j}^l + b_j^l \right) \quad (9)$$

Here  $\otimes$  denotes the convolution operation.

The pooling layer: The pooling layer is typically used between the convolutional layers to reduce the number of parameters and computational load in the CNN architecture. The purpose of the pooling process is to reduce the size of the dataset and to prevent over-learning with network training.

Fully Connected Layer: It is stated that every neuron in the previous layer is connected to every neuron in the next layer. Similar to ordinary neural networks, in a fully connected layer, all neurons of one layer are connected to all neurons of the previous layer. The output from the convolutional and pooling layers represents the high-level attributes of the input dataset. The purpose of the fully connected layer is to use these attributes to classify the input dataset into various classes (Kesici 2019).

#### **2.2.4. Permutation Feature Importance (PFI)**

This approach works by assigning a random value to a property based on the relationship between the property and the model output. PFI is an advantageous application in terms of determining the features that affect the result of a model and interpreting the performance of the model.

PFI is an approach used to calculate the importance of features regardless of the model (Otchere et al. 2022). With this approach, it determines the importance of each feature based on the effect of the machine learning model on classification (Altmann et al. 2010). The purpose of the PFI is to calculate how much the performance measure of the model has decreased by randomly extracting the features from the data set. The amount of increase in the RMSE (Ibrahim and Jafari 2019) or MAE (Rengasamy, Rothwell, and Figueredo 2021) values can be determined by the effects of the used features in the model on the classification. The bigger the change, the more important that feature is. Or, when the information about the feature is removed, the increase in the model error determines the importance of the feature (Molnar 2022).

#### **2.2.5. Model Performance Evaluation**

In classification problems, the success of the created model is determined by comparing the number of samples assigned to the correct class with the number of samples assigned to the wrong class. Using the confusion matrix (Table 2), the Accuracy, Precision, Sensitivity and F-score values of the model can be calculated.

**Table 2.** Confusion Matrix

	Positive	Negative
Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)

Accuracy: It can be calculated as the ratio of the number of correctly classified samples to the total number of samples (Equation 10).

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (10)$$

Precision: The ratio of true positive values to classified positive values (Equation 11).

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (11)$$

Sensitivity: It is the ratio of the number of correctly classified samples obtained as a result of the created model to the number of positive samples (Equation 12).

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (12)$$

F – score: It is the harmonic mean of the Sensitivity and Precision values (Equation 13). It is frequently used in literature. Sometimes, when evaluating the performance of models, the evaluation of Precision or Sensitivity alone may be incomplete.

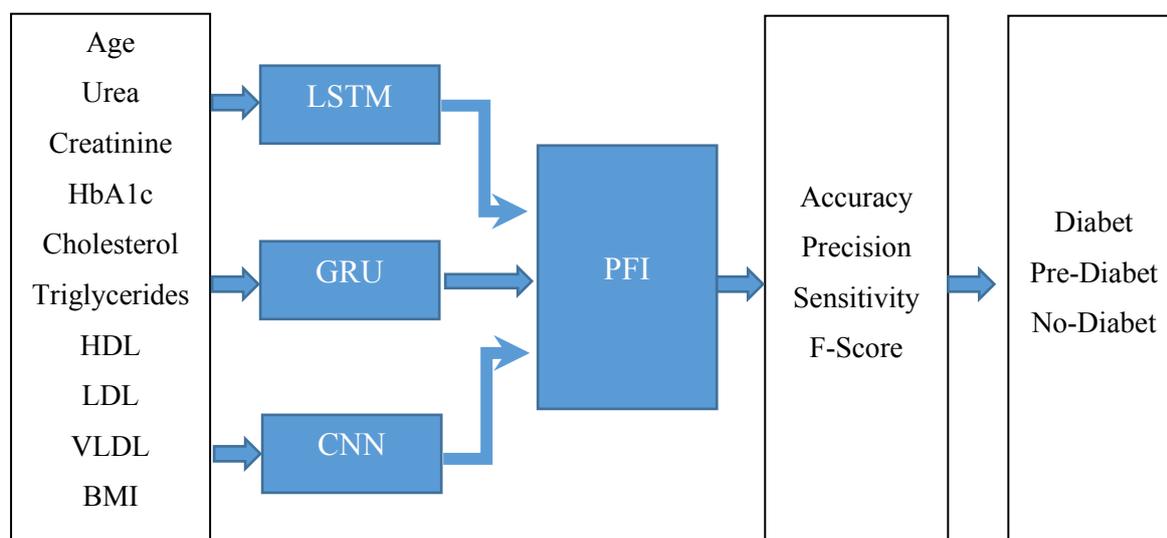
$$F - score = 2 \times \frac{Precision \times Sensitivity}{Precision+Sensitivity} \quad (13)$$

### 3. Experimental Results and Discussion

#### 3.1. Classification

The model developed in this study was implemented using the Python programming language in the Spyder editor. TensorFlow and KERAS libraries were used as deep learning tools. In addition, data analysis was performed using Sci-kit learn and other basic Python libraries. For the calculation

a computer with the Windows 10 operating system, an IntelCore i7 2.2 GHz processor and 32 GB RAM was used.



**Figure 4.** Block diagram of classification

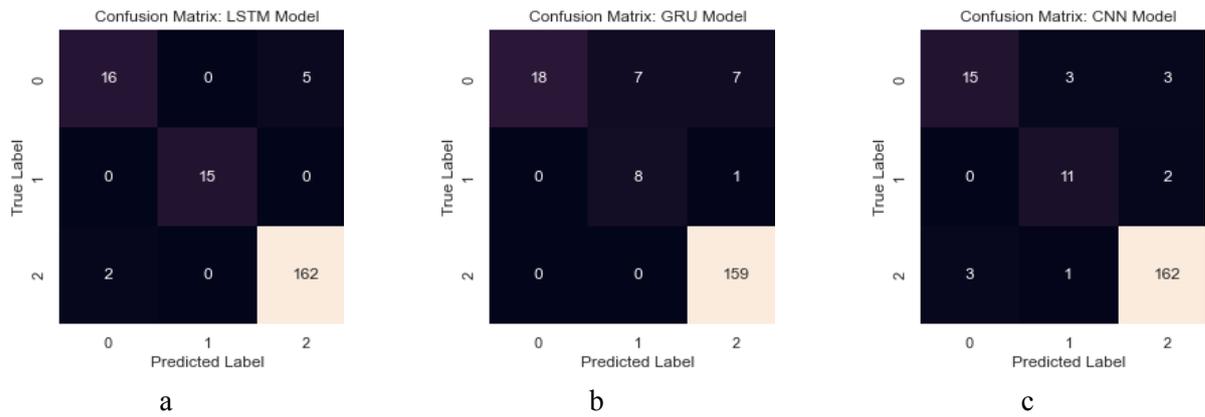
A classification model (Figure 4) was developed with LSTM, GRU and CNN deep learning methods by using the data set obtained from Medical City Hospital Endocrinology and Diabetes Specialization Centre Al Kindy Training Hospital laboratories. The data set was organized using 10 different features belonging to 1000 people. Input parameters are Age, Urea, Creatine ratio, HbA1c, Cholesterol, Triglyceride, HDL, LDL, VLDL and Body Mass Index values of the developed model were used. Diabetes, pre-diabetes and no-diabetes labels and model performance criteria accuracy, precision, sensitivity and F-score values obtained as a result of the analysis of data belonging to 3 different classes are shown in Table 3.

**Table 3.** Classification performance metrics

Model	Train Accuracy	Accuracy	Precision	Sensitivity	F- Score
LSTM	%100	%96,50	%96,84	%96,50	%96,62
GRU	%96,63	%93,00	%95,95	%92,50	%93,49
CNN	%100	%94,00	%94,26	%94,00	%94,06

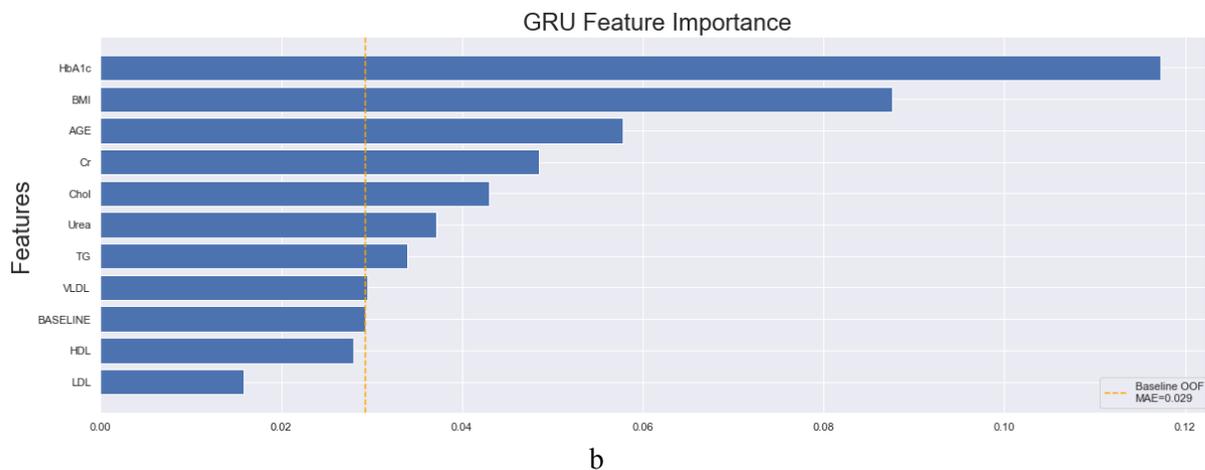
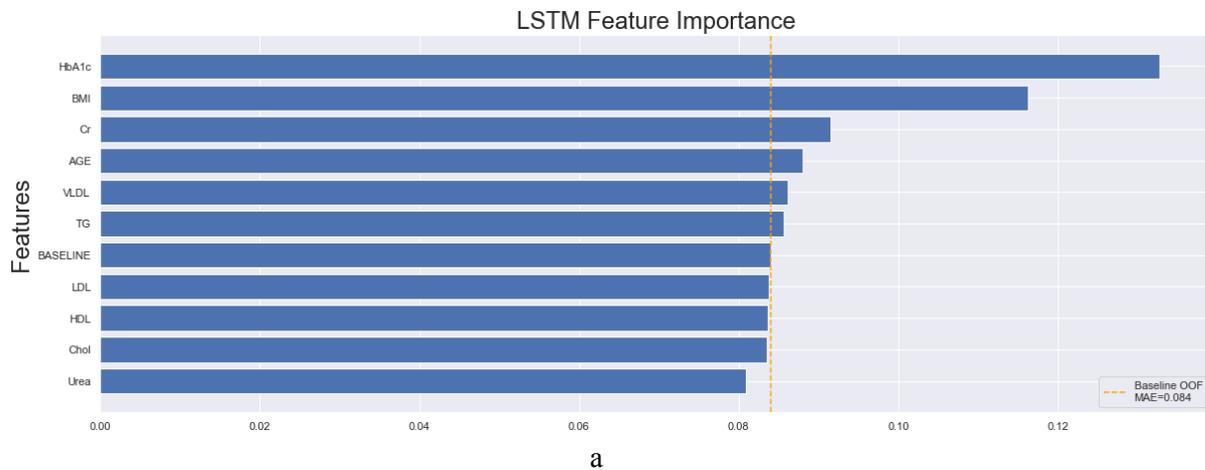
In the model, performed with the LSTM method, the training set was classified with an accuracy of 100.00%. 200 LSTM blocks and ReLu activation function are used in the model. Dense layer is used together with the ReLu activation function to connect the nodes of the layers together. SoftMax activation function is used in the output layer. The developed model was tested, and it achieved an

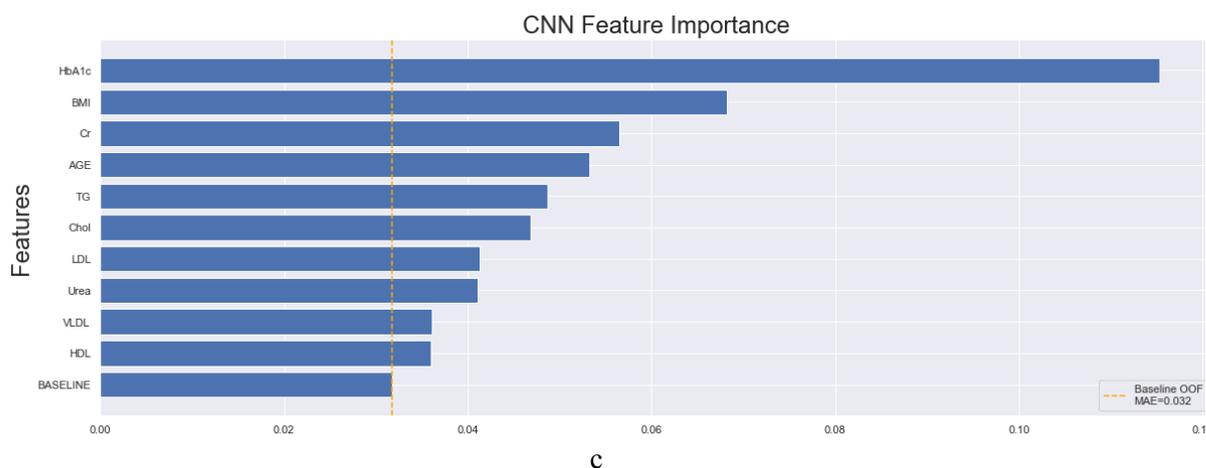
accuracy rate of 96.50%. In the confusion matrix, shown in Figure 5, 0, shows data for no-diabetes, 1 for pre-diabetes, and 2 for diabetes.



**Figure 5.** Confusion Matrix

As a result of the LSTM classification method, the importance of the features that affect the output classification result of the features defined as input to the model was calculated by the PFI method (Figure 5.a). The commonly used metric, mean absolute error (MAE), was used to assess the classification quality. As a result of the PFI, it was found that the most effective parameter in diabetes was HbA1c, followed by the Body Mass Index parameter and the age parameter (Figure 6.a).





**Figure.6** Permutation Feature Importance (PFI)

As a result of the GRU method, an accuracy rate of 93.00% was obtained with the test data (Table 3). In the GRU method, the ReLu activation function and a model consisting of 100 blocks are proposed. A SoftMax activation function is used at the output of the model. The confusion matrix of the GRU model is shown in Figure 5.b. In the developed model with the GRU algorithm, it is seen that the HbA1c value, one of the input parameters, has the highest effect on the classification process as a result of the permutation importance feature method (Figure 6.b).

As a result of the proposed method with the CNN algorithm, 94.00% of the test data was classified correctly. The CNN model consists of a ReLu activation function and 16 filter layers. The SoftMax function is used in the output layer of the model. The obtained results with the CNN algorithm are shown in Figure 5.c. As a result of the permutation importance feature method, as in the LSTM and GRU methods, the input parameter HbA1c was obtained as the parameter with the highest effect in the classification process (Figure 6.c).

#### 4. Conclusion

The diagnosis of diabetes, which is a medical problem today, is important in its early stages. In this study, it was aimed to detect diabetes by parameters such as blood parameters and body mass index.

In this study, the classification of diabetes patients is proposed by using deep learning methods LSTM, GRU and CNN algorithms. The permutation importance features method was used to analyse the classification performance of the features in the data set.

The LSTM algorithm has achieved a success rate of 96.50% in the problem of diabetes patient classification. The effect of the features given as input to the model on the classification result was determined by using the permutation importance feature method. The HbA1c parameter was determined as the most effective parameter in the classification with LSTM, GRU and CNN algorithms.

The deep learning-based diabetes diagnosis system will make a great contribution to early diagnosis by specialist physicians and to starting treatment in a shorter time. In addition, it is thought that HbA1c and body mass index parameters will make a great contribution to physicians' pre-diagnosis of diabetes.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### **References**

- Ahlan, Rashid. 2020. "Diabetes Dataset."
- Alhassan, Zakhriya, A. Stephen McGough, Riyad Alshammari, Tahani Daghtani, David Budgen, and Noura Al Moubayed. 2018. "Type-2 Diabetes Mellitus Diagnosis from Time Series Clinical Data Using Deep Learning Models." Pp. 468–78 in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Vol. 11141 LNCS. Springer Verlag.
- Altmann, André, Laura Toloşi, Oliver Sander, and Thomas Lengauer. 2010. "Permutation Importance: A Corrected Feature Importance Measure." *Bioinformatics* 26(10):1340–47. doi: 10.1093/bioinformatics/btq134.
- Ayata, Deger, Murat Saraclar, and Arzucan Ozgur. 2017. "Uzun-Kisa Süreli Bellek Yinelemeli Ağlar Ile Politik Yönelimlerin/Duygularin Twitter Üzerinden Tahminlenmesi." in *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2017*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Battineni, Gopi, Getu Gamo Sagaro, Chintalapudi Nalini, Francesco Amenta, and Seyed Khosrow Tayebati. 2019. "Comparative Machine-Learning Approach: A Follow-up Study on Type 2 Diabetes Predictions by Cross-Validation Methods." *Machines* 7(4). doi: 10.3390/machines7040074.
- Bhardwaj, Sanjeev, Sachin Jain, Naresh Kumar Trivedi, Ajay Kumar, and Raj Gaurang Tiwari. 2022. "Intelligent Heart Disease Prediction System Using Data Mining Modeling Techniques." *Lecture Notes in Networks and Systems* 425:881–91. doi: 10.1007/978-981-19-0707-4\_79.



- Bişkin, Osman Tayfun, and Ahmet Çiççi. 2021. "Forecasting of Turkey's Electrical Energy Consumption Using LSTM and GRU Networks." *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. doi: 10.35193/bseufbd.935824.
- Chen, Zuyan, Jared Walters, Gang Xiao, and Shuai Li. 2022. "An Enhanced GRU Model With Application to Manipulator Trajectory Tracking." *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics* 1:1–11. doi: 10.4108/airo.v1i.7.
- Cho, Kyunghyun, Bart van Merriënboer, Çağlar Gulcehre, Dzmitry Bahdanau, Fethi Bougares, Holger Schwenk, and Yoshua Bengio. 2014. "Learning Phrase Representations Using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation." Pp. 1724–34 in *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. Association for Computational Linguistics.
- Er, Mehmet Bilal, and İbrahim Işık. 2021. "LSTM Tabanlı Derin Ağlar Kullanılarak Diyabet Hastalığı Tahmini." *Türk Doğa ve Fen Dergisi*. doi: 10.46810/tdfd.818528.
- Fazakis, Nikos, Otilia Kocsis, Elias Dritsas, Sotiris Alexiou, Nikos Fakotakis, and Konstantinos Moustakas. 2021. "Machine Learning Tools for Long-Term Type 2 Diabetes Risk Prediction." *IEEE Access* 9:103737–57. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3098691.
- Fischer, Thomas, and Christopher Krauss. 2018. "Deep Learning with Long Short-Term Memory Networks for Financial Market Predictions." *European Journal of Operational Research* 270(2):654–69. doi: 10.1016/j.ejor.2017.11.054.
- Hochreiter, Sepp, and Jürgen Schmidhuber. 1997. "Long Short-Term Memory." *Neural Computation* 9(8):1–32.
- Ibrahim, Bassem, and Roozbeh Jafari. 2019. "Cuffless Blood Pressure Monitoring from an Array of Wrist Bio-Impedance Sensors Using Subject-Specific Regression Models: Proof of Concept." *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. doi: 10.1109/TBCAS.2019.2946661.
- Kandhasamy, J. Pradeep, and S. Balamurali. 2015. "Performance Analysis of Classifier Models to Predict Diabetes Mellitus." Pp. 45–51 in *Procedia Computer Science*. Vol. 47. Elsevier B.V.
- Karabiber, Cansu, and Nazan Savaş. 2021. "Birinci Basamak Merkez Laboratuvarı HbA1c Verilerine Göre XXXX'da Glisemik Kontrol Durumu ve İlişkili Faktörler." *Türkiye Halk Sağlığı Dergisi*. doi: 10.20518/tjph.853697.
- Kesici, Mert. 2019. "Güç Sistemlerinde Geçici Hal Kararsızlığının ve Gelişiminin Derin Öğrenme ve Karar Ağacı Tabanlı Yöntemler İle Geniş Alan Ölçümlerine Dayalı Olarak Erken Kestirimi." Istanbul Technical University.
- Kumari, Saloni, Deepika Kumar, and Mamta Mittal. 2021. "An Ensemble Approach for Classification and Prediction of Diabetes Mellitus Using Soft Voting Classifier." *International Journal of Cognitive Computing in Engineering* 2:40–46. doi: 10.1016/j.ijcce.2021.01.001.
- Makroum, Mohammed Amine, Mehdi Adda, Abdenour Bouzouane, and Hussein Ibrahim. 2022. "Machine Learning and Smart Devices for Diabetes Management: Systematic Review." *Sensors* 22(5).
- Molnar, Christoph. 2022. *Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable*. Second Edi. christophm.github.io.
- O'Shea, Keiron, and Ryan Nash. 2015. "An Introduction to Convolutional Neural Networks."
- Otchere, Daniel Asante, Mary Aboagye, Mohammed Ayoub, Abdalla Mohammed, and Thomas Boahen Boakye. 2022. *Enhancing Drilling Fluid Lost-Circulation Prediction Using Model Agnostic and Supervised Machine Learning*.
- Peng, Min, Chongyang Wang, Tong Chen, and Guangyuan Liu. 2016. "NIRFaceNet: A Convolutional Neural Network for near-Infrared Face Identification." *Information (Switzerland)* 7(4). doi: 10.3390/info7040061.
- Qawqzeh, Yousef K., Abdullah S. Bajahzar, Mahdi Jemmali, Mohammad Mahmood Ootom, and Adel Thaljaoui. 2020. "Classification of Diabetes Using Photoplethysmogram (PPG) Waveform Analysis: Logistic Regression Modeling." *BioMed Research International* 2020. doi: 10.1155/2020/3764653.
- Rajput, Minakshi R., and Sushant S. Khedgikar. 2022. "Diabetes Prediction and Analysis Using Medical Attributes: A Machine Learning Approach." *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology* 14(1):98–103. doi: 10.37896/JXAT14.01/314405.
- Rengasamy, Divish, Benjamin C. Rothwell, and Graziela P. Figueredo. 2021. "Towards a More Reliable Interpretation of Machine Learning Outputs for Safety-Critical Systems Using Feature Importance Fusion." *Applied Sciences (Switzerland)* 11(24). doi: 10.3390/app112411854.
- Sadeghi, Somayeh, Davood Khalili, Azra Ramezankhani, Mohammad Ali Mansournia, and Mahboubeh Parsaeian. 2022. "Diabetes Mellitus Risk Prediction in the Presence of Class Imbalance Using Flexible Machine Learning Methods." *BMC Medical Informatics and Decision Making* 22(1). doi:

10.1186/s12911-022-01775-z.

- Sagheer, Alaa, and Mostafa Kotb. 2019. "Time Series Forecasting of Petroleum Production Using Deep LSTM Recurrent Networks." *Neurocomputing* 323:203–13. doi: 10.1016/j.neucom.2018.09.082.
- Shishvan, Omid Rajabi, Daphney Stavroula Zois, and Tolga Soyata. 2018. "Machine Intelligence in Healthcare and Medical Cyber Physical Systems: A Survey." *IEEE Access* 6:46419–94.
- Sisodia, Deepti, and Dilip Singh Sisodia. 2018. "Prediction of Diabetes Using Classification Algorithms." Pp. 1578–85 in *Procedia Computer Science*. Vol. 132. Elsevier B.V.
- Sun, Yun Lei, and Da Lin Zhang. 2019. "Machine Learning Techniques for Screening and Diagnosis of Diabetes: A Survey." *Tehnicki Vjesnik* 26(3):872–80.
- Swapna, G., K. P. Soman, and R. Vinayakumar. 2018. "Automated Detection of Diabetes Using CNN and CNN-LSTM Network and Heart Rate Signals." Pp. 1253–62 in *Procedia Computer Science*. Vol. 132. Elsevier B.V.
- Tafa, Zhilbert, Nerxhivane Pervetica, and Bertran Karahoda. 2015. "An Intelligent System for Diabetes Prediction." Pp. 378–82 in *Proceedings - 2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2015 - Including ECyPS 2015, BioEMIS 2015, BioICT 2015, MECO-Student Challenge 2015*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Wang, Huaizhi, Haiyan Yi, Jianchun Peng, Guibin Wang, Yitao Liu, Hui Jiang, and Wenxin Liu. 2017. "Deterministic and Probabilistic Forecasting of Photovoltaic Power Based on Deep Convolutional Neural Network." *Energy Conversion and Management* 153:409–22. doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.008.
- Xiao, Yuelel, and Yang Yin. 2019. "Hybrid LSTM Neural Network for Short-Term Traffic Flow Prediction." *Information (Switzerland)* 10(3). doi: 10.3390/info10030105.

## Ardışık Gözlem İstasyonu Verileri ile Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Yöntemi Kullanılarak Akım Tahmin Çalışması

Evren TURHAN\*<sup>1</sup>

### Öz

Nehir akım verilerinin sürekli olması su kaynakları üzerine inşa edilecek yapıların tasarımı aşamalarında oldukça önemlidir. Geçmiş zaman kayıtlı akım verileri ele alındığında eksik akımların söz konusu olduğu görülebilmektedir. Dolayısı ile hidrometeorolojik olarak eşdeğer gözlem istasyonu verileri kullanılarak literatürde farklı yöntemlerle tahmin çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada hidrolojik süreçlerin lineer olmayan özellik göstermeleri nedeniyle Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (ÇDOR) metodu ile akım tahmini değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Uygulama yeri olarak Seyhan ve Doğu Akdeniz Havzaları'ndaki aynı akarsu güzergahında yer alan ardışık akım gözlem istasyonları tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda; 1729 nolu gözlem istasyonunun bağımsız; 1721 ve 1730 nolu istasyonların önceki 6 ay verilerinin ise bağımlı değişkenleri oluşturduğu modeller hem eğitim hem de test aşamaları için en yüksek korelasyon ve en düşük hata değerlerini vermiştir. 1829 nolu istasyonun bağımsız değişken; 1820 ve 1830 istasyonlarının ise bağımlı değişken olduğu model yapılarında sırasıyla 1 önceki ay ve 3 önceki ay giriş verilerinde en iyi sonuçlar görülmüştür. 1829-1830 istasyonları ile elde edilen Model-3 eğitim sonucu belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) 0.943 olup, test sonucu ise 0.969 dolaylarında ortaya çıkmıştır. Bu modelde Ortalama Karesel Hata (OKH) sıfıra çok yakın olduğu için tüm modeller açısından en iyi değerlendirme kriteri olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ardışık Gözlem İstasyonları, ÇDOR, Akım Tahmini, Seyhan Havzası, Doğu Akdeniz Havzası.

## Streamflow Prediction Study with Sequential Gauging Station Data Using Multiple Nonlinear Regression Method

### Abstract

The continuous of the river flow data is quite important in the design stages of hydraulic structures to be constructed on water resources. It can be seen that there are missing data when the past recording flow data is considered. Therefore, prediction studies are carried out with different methods by using hydrometeorologically equivalent gauging station data in the literature. In this study, streamflow prediction evaluations have been performed with the Multiple Nonlinear Regression (MNL) method due to the nonlinear relationship of hydrological processes. Sequential gauging stations located on the same river route in Seyhan and Eastern Mediterranean Basins were preferred for the case study. As a result of the study, models in which the streamflow gauging station- No: 1729 is the independent variable and the previous 6-months data of stations- No: 1721 and 1730 are dependent variables give the highest correlation and lowest error values for both training and testing phases. In which the station of No: 1829 is the independent variable and in the model structures where the stations of No: 1820 and 1830 are the dependent variables, the best results have been seen in the input data of the previous 1-month and previous 3-months, respectively. In consequence of Model-3 training created with the 1829-1830 stations, the coefficient of determination ( $R^2$ ) has been 0.943, and the test result has been around 0.969 value. Because Mean Squared Error (MSE) is very close to zero in this model, it has been determined as the best evaluation criteria in terms of all models.

**Keywords:** Sequential Gauging Stations, MNL, Streamflow Prediction, Seyhan Basin, Eastern Mediterranean Basin.

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, eturhan@atu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0742-4848>

## 1. Giriş

Nüfusun hızlı bir şekilde artması mevcut su kaynaklarının planlanmasını ve ileriye dönük mühendislik çalışmaları bakımından ayrıntılı incelemeler yapılmasını gerekli kılmaktadır. Etkili bir planlama sürecinde birçok meteorolojik ve hidrolojik verilerden faydalanılmaktadır. Özellikle tasarım aşaması için yağış, akım, sıcaklık vb. gibi verilerin tam olması oldukça önemlidir. Ancak çoğu durumda farklı birçok sebepten ötürü bahsedilen bu verilerin noksan olduğu görülmektedir. Dolayısı ile drenaj havzaları içerisindeki su kaynaklarının kayıtlı gözlemlenmiş verileri ile tahmin yaparak söz konusu eksikliklerin giderilebilmesi mevcut literatüre hidroloji alanında olumlu katkılar sunmaktadır.

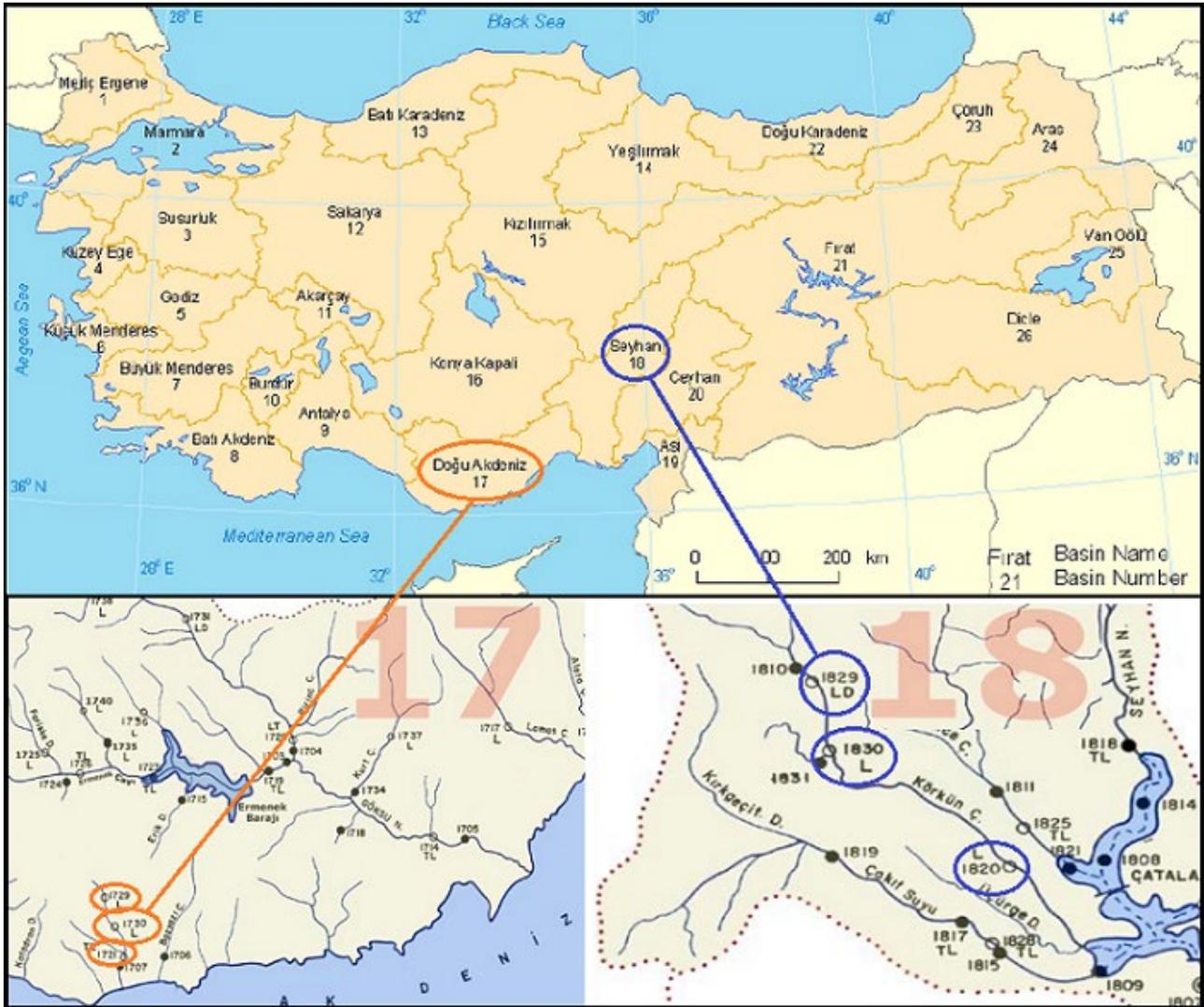
Hidrometeorolojik süreçlerin çoğunlukla karmaşık özellik göstermeleri, doğadaki su çevrimi gibi sistemlerin davranışının modellenmesini gerektirebilmektedir. Bu nedenle lineer olmayan modellerin nehir akım verilerinde kullanılmaları etkin tahmin modelinin oluşması anlamında yararlı olacaktır (Turhan, 2012). Literatürde su toplama havzalarının modellenmesinde çeşitli metotların kullanıldığı birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Akım tahmininde Yapay Zeka (YZ) yöntemlerinin ele alındığı ve geleneksel metotlardan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) analiz sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmeler yapıldığı uygulamalar dikkat çekmektedir (Gümüş ve ark., 2011; Zakaria ve Shabri, 2012; Terzi ve Önal, 2012; Gümüş ve Kavşut, 2013; Gümüş ve ark., 2013; Rezaeianzadeh ve ark., 2014; Turhan ve Özmen-Çağatay, 2016a; Ravansalar ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2018; Poul ve ark., 2019; Yıldırım ve Kandemir, 2020; Turhan, 2021; Burgan, 2022; Babacan ve Saka, 2022). Ayrıca su kaynaklarının yönetimi süreçleri için akım harici çeşitli meteorolojik verilerin tahminlerinde de YZ ve ÇDR metotları kullanılmaktadır (Yıldırım ve Kandemir, 2018; Dayan ve ark., 2021; Kaya ve ark., 2021; Üneş ve ark., 2021). Bahsedilen veri eksikliklerinin tamamlanmasında ÇDOR yönteminin ele alındığı çalışmalar literatürde yer almaktadır (Seçkin ve ark., 2010; Seçkin, 2011; Rezaeianzadeh ve ark., 2014; Anusree ve Varghese, 2016; Turhan ve Özmen-Çağatay, 2016a; Turhan ve ark., 2016b; Harun ve ark., 2021).

Bu çalışmada aynı akarsu kolunda bulunan ve Doğu Akdeniz Havzası'nda Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'ne ait olan 1721, 1729 ve 1730 ile Seyhan Havzası'nda EİEİ'ye ait 1820, 1829 ve 1830 numaralı ardışık akım gözlem istasyonları verilerinden faydalanılmıştır. 1729 ve 1829 nolu istasyon verileri bağımsız değişkenler olarak değerlendirilerek, diğer istasyon verileri kendi aralarında farklı giriş seçenekleri ile MS-Excel programında ÇDOR yöntemi aracılığıyla tahmin analizi gerçekleştirilmiştir. Verilerin %70'i eğitim, kalan %30'u ise test kümesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) performans kriterlerine göre yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Akım Verileri

Doğu Akdeniz ve Seyhan Havzaları, Türkiye'nin su kaynakları rezervi yönünden zengin havzalarındandır (Şekil 1). Türkiye'nin güneyinde bulunan Seyhan Havzası, 36°30' ile 39°15' kuzey enlemleri ve 34°45' ile 37°00' doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. Havzanın drenaj alanı yaklaşık 22.035 km<sup>2</sup>'dir. Ortalama yıllık akım değeri 6 km<sup>3</sup>'e ulaşmaktadır. Seyhan Havzası'nın Akdeniz Bölgesi sınırlarında Akdeniz iklimi, İç Anadolu Bölgesi'ni kapsayan alanlarda ise karasal iklim özellikleri görülmektedir. Su kaynakları Seyhan Nehri ve alt kollarından oluşmaktadır. Ana kollarını Göksu ve Zamantı Nehirleri olarak ifade etmek mümkündür (Seyhan Havzası Taşkın Yönetim Planı, 2020).



Şekil 1. Doğu Akdeniz ve Seyhan Havzaları ile belirtilen akım gözlem istasyonlarının lokasyonları (Uluğtekin ve ark., 2005; EİEİ, 2011)

Türkiye'nin yine güney kesiminde bulunan Doğu Akdeniz Havzası, doğrudan denize ulaşan birçok drenaj alanına sahiptir. Bu havzanın iki önemli su kaynağı bulunmaktadır. Bunlar Göksu ve Tarsus (Berdan) akarsuları olarak belirtilebilir. Havza çoğunlukla Akdeniz iklimi özelliklerine sahip olup; yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir (Doğu Akdeniz Havzası Taşkın Yönetimi Planı, 2019). Çalışma kapsamında, Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan 1721, 1729 ve 1730 numaralı ardışık Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) ile Seyhan Havzası'ndaki 1820, 1829 ve 1830 numaralı AGİ'ler tercih edilmiştir. 1721 nolu AGİ, Mersin ili Anamur-Ermenek karayolunun 18. km'sindeki Anamur Çayı Alaköprü üzerinde konumlandırılmıştır. 1729 nolu AGİ, Anamur Dibek Köprüsü yönünde 42. km'de Sugözü mevkiisindeki tahta köprü yakınlarındadır. 1730 nolu AGİ ise Anamur-Ermenek karayolunun 15. km'sinden sonraki ilk köprü kesitinde yer almaktadır. 1820 nolu AGİ, Adana ili Karaisalı ilçesinin 12 km kadar kuzeydoğusunda Körkün Suyu üzerindeki Hacılı köyü köprüsü yakınlarındadır. 1829 nolu AGİ, Adana ili Pozantı-Çamardı karayolunun 27. km'sinde Kamışlı bölgesinde Körkün Suyu üzerinde yer almaktadır. 1830 nolu AGİ ise 1829 AGİ'de olduğu gibi Pozantı-Çamardı karayolu Kamışlı'ya 19 km mesafede Karakuz mevkiindedir. Seçilen söz konusu AGİ'ler ile ilgili daha detaylı genel bilgiler Tablo 1'de gösterilmektedir (EİEİ, 2011).

**Tablo 1.** Akım Gözlem İstasyonlarının Genel Bilgileri (EİEİ, 2011)

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Yağış Alanı (km <sup>2</sup> )	Değerlendirme Süresi (yıllar)
1721	Anamur Çayı-Alaköprü	36°10'33"	32°53'44"	313.20	1995-2011
1729	Anamur Çayı-Sugözü	36°19'00"	32°46'42"	9.50	1995-2011
1730	Anamur Çayı-Dibek Köprüsü	36°15'45"	32°48'50"	60.0	1995-2011
1820	Körkün Suyu-Hacılı Köprüsü	37°17'44"	35°09'17"	1440.80	1994-2011
1829	Körkün Suyu-Kamışlı	37°33'00"	34°57'25"	1065.10	1994-2011
1830	Körkün Suyu-Karakuz	37°28'54"	35°04'15"	1230.50	1994-2011

## 2.2. Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ve Değerlendirme Kriterleri

Bu çalışmada akım tahmininde ÇDOR analizlerinden faydalanılmıştır. Genel manada regresyon analizi belirlenen değişkenler arasında anlamsal olarak bir ilişki olup olmadığını saptayabilmek, ilişki söz konusu ise bu ilişkiyi temsil eden regresyon denklemini bulmak, bu denklemleri kullanarak da tahmin yapısı oluşturmaktır. Herhangi iki değişken arasında anlamsal bir ilişki olup olmadığına karar vermek için çoğunlukla korelasyon katsayısına veya determinasyon

katsayısına bakılmaktadır. Eğer korelasyon katsayılarının mutlak bakımından değeri 1'e yakın ise iki değişken arasında bağımlılığın güçlü olduğu, dolayısıyla da deterministik bir ilişkiye yaklaştığı düşünülmektedir (Turhan ve Özmen-Çağatay, 2016a). Doğrusal regresyonda bağımlı değişkenin 'y'; bağımsız değişkenlerin  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_r$  ile ifade edilmesi durumunda aralarındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Denklem 1) (Kaya ve Babacan, 2021):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_r x_r + \delta \quad (1)$$

Denklem 1'de  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_r$  bilinmeyenlerine '*Regresyon Katsayıları*' adı verilmektedir.  $\beta_j$  katsayısı, diğer değişkenler sabit olarak değerlendirildiğinde  $x_j$  ifadesindeki bir birim değişim sonucunda  $y$  değişkeninde oluşan değişim miktarını temsil etmektedir.  $\beta_j$  ( $j=1,2,\dots,r$ ) parametreleri ise '*Kısmi Regresyon Katsayıları*' olarak adlandırılmaktadır.  $\beta_0$  sabit bir sayıyı göstermekte ve tüm  $x_j$  değişkenleri sıfıra eşit olduğu durumdaki değeri ifade etmektedir. ' $\delta$ ' ise hata sabitidir (Gümüş ve Kavşut, 2013). Regresyon için veriler sürekli reel sayılar olarak ele alınmıştır. Dolayısı ile eksik veri sayısının tahmini etkileyecek düzeyde fazla olmadığı düşünüldüğünden regresyon analizi açısından uygun olduğu öngörülmüştür.

ÇDOR lineer regresyon ile aynı formül yapılarına sahip olmakla birlikte lineer olmayan regresyonda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında nonlineer bir ilişkinin var olup olmadığı sorgulanmaktadır. ÇDOR'de genelde lojistik, üstel ve polinom denklemlerinden yararlanılmaktadır. Örneğin ' $M$ ' bağımlı değişkeni ile Denklem 2'de verilen bağımsız değişkenler arasında üstel bir fonksiyon olduğu düşünülerek lineer olmayan regresyon analizi bağıntısı şu şekilde gösterilebilir:

$$M = \lambda a_1^{\beta_1} a_2^{\beta_2} a_3^{\beta_3} \dots a_p^{\beta_p} \quad (2)$$

burada  $\beta_p$  p'nci model parametresini,  $\lambda$  çarpımsal hata terimini ve p değişken sayısını belirtmektedir (Seçkin ve ark., 2010).

Değerlendirme kriterleri olarak literatürde sıklıkla kullanılan  $R^2$  belirlilik katsayısı, Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) sonuçlarından faydalanılmıştır (Seçkin ve ark., 2010; Turhan ve Özmen-Çağatay, 2016a; Turhan ve ark., 2016b). Bu kriterlerle ilgili formüller aşağıda gösterilmiştir (Denklem 3, 4 ve 5):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{gözlenen} - Q_{ortalama})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{gözlenen} - Q_{hesaplanan})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{gözlenen} - Q_{ortalama})^2} \quad (3)$$

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{gözlenen} - Q_{hesaplanan})^2 \quad (4)$$

$$OMGH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \left( \frac{Q_{gözlenen} - Q_{hesaplanan}}{Q_{gözlenen}} \right) \right| * 100 \quad (5)$$

Performans kriterlerinin sıfıra,  $R^2$  değerinin ise 1'e yakın olması tahmin yönünden iyi bir model olabileceğini göstermektedir. ÇDOR yöntemi ile tahmin analizi MS-Excel programında gerçekleştirilmiştir.

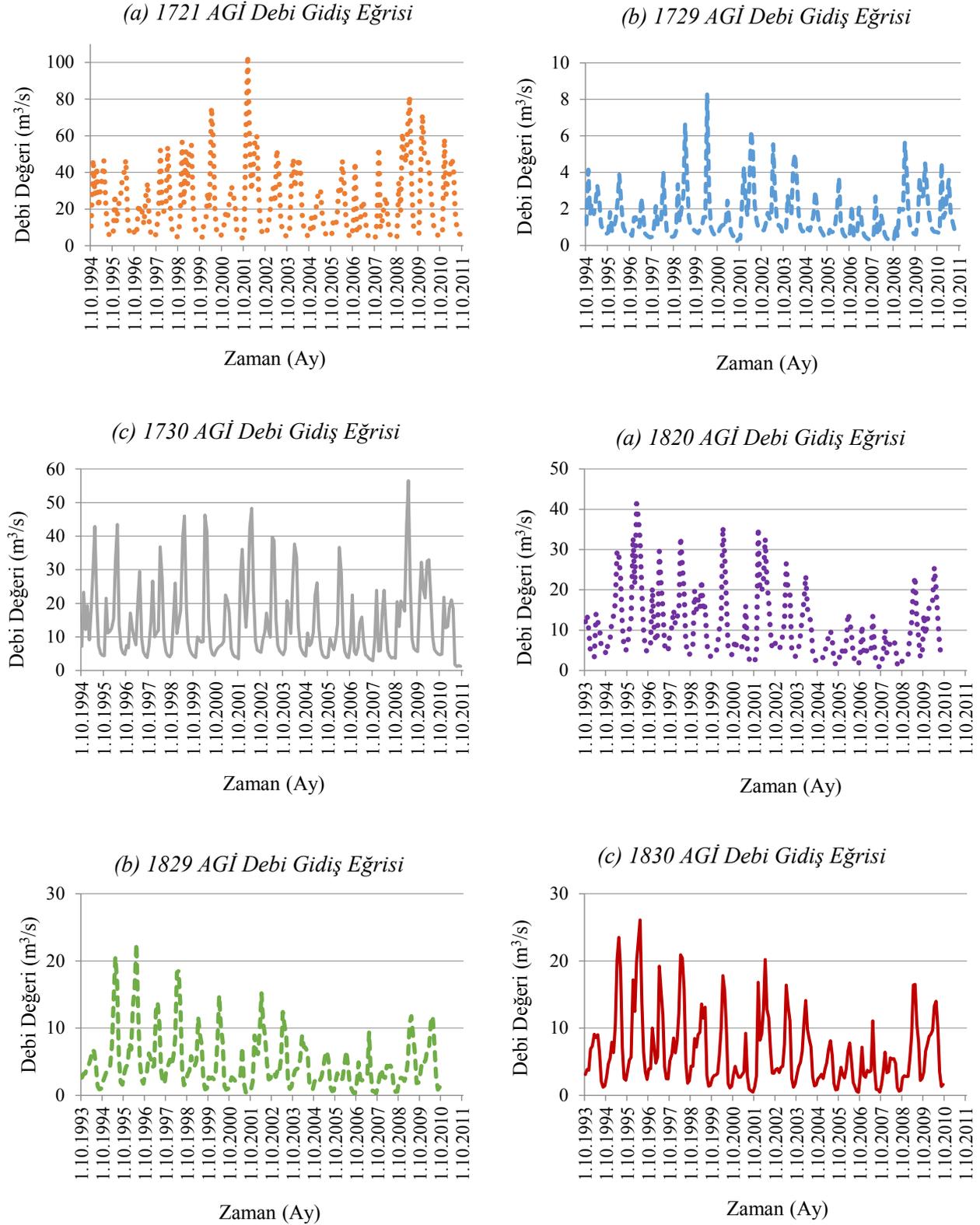
### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada aynı akarsu kolu üzerinde yer alan ve Doğu Akdeniz Havzası'ndaki 1721, 1729 ve 1730 ile Seyhan Havzası'ndaki 1820, 1829 ve 1830 numaralı ardışık akım gözlem istasyonlarının sırasıyla 1995-2011 ve 1994-2011 yılları arası ortalama aylık akım verilerinden yararlanılmıştır. Modellemelerde zaman gecikmesi kullanılmış olup; Doğu Akdeniz Havzası AGİ'lerinde 1994 su yılı; Seyhan Havzası'nda ise 1993 su yılı gözlemleri eksik olduğundan en fazla altı önceki zaman aylık verileri gecikme adımı bakımından değerlendirilmiştir. 1729 ve 1829 nolu istasyon verileri bağımsız değişkenler olarak girişte kullanılmış, diğer istasyon verileri kendi aralarında farklı seçenekler düşünülerek MS-Excel programında ÇDOR yöntemi ile tahmin analizi gerçekleştirilmiştir. Verilerin %70'i eğitim, kalan %30'u test sürecinde ele alınmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar  $R^2$ , OKH ve OMGH performans kriterlerine göre incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan AGİ'lerin istatistiksel parametreleri Tablo 2'de verilmektedir. Debi gidiş eğrilerine göre 1729 AGİ'nin en düşük debi değerlerinde seyrettiği, 1730 ile 1830 AGİ'lerin ise birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 2). Diğer AGİ'lere kıyasla 1721 AGİ'nin en yüksek debilere sahip olduğu dikkat çekmektedir.

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan istasyonların tüm gözlem süresindeki istatistiksel bilgileri (EİEİ, 2011)

İstasyon No	Ortalama Akım (m <sup>3</sup> /s)	Minimum Akım (m <sup>3</sup> /s)	Maksimum Akım (m <sup>3</sup> /s)	Yıllık Verim (L/s/km <sup>2</sup> )	Yıllık Akış Yüksekliği (mm)	Yıllık Toplam Akım (hm <sup>3</sup> )
1721	24.00	1.86	507.00	81.20	2557	802.00
1729	1.55	0.18	40.40	183.00	5791	55.00
1730	13.90	0.17	221.00	168.00	5303	318.00
1820	12.70	0.59	528.00	8.28	261	376.00
1829	5.36	0.24	212.00	5.57	176	187.00
1830	6.67	0.29	68.00	6.19	195	240.00





**Şekil 2.** Gözlem istasyonlarının debi gidiş eğrileri

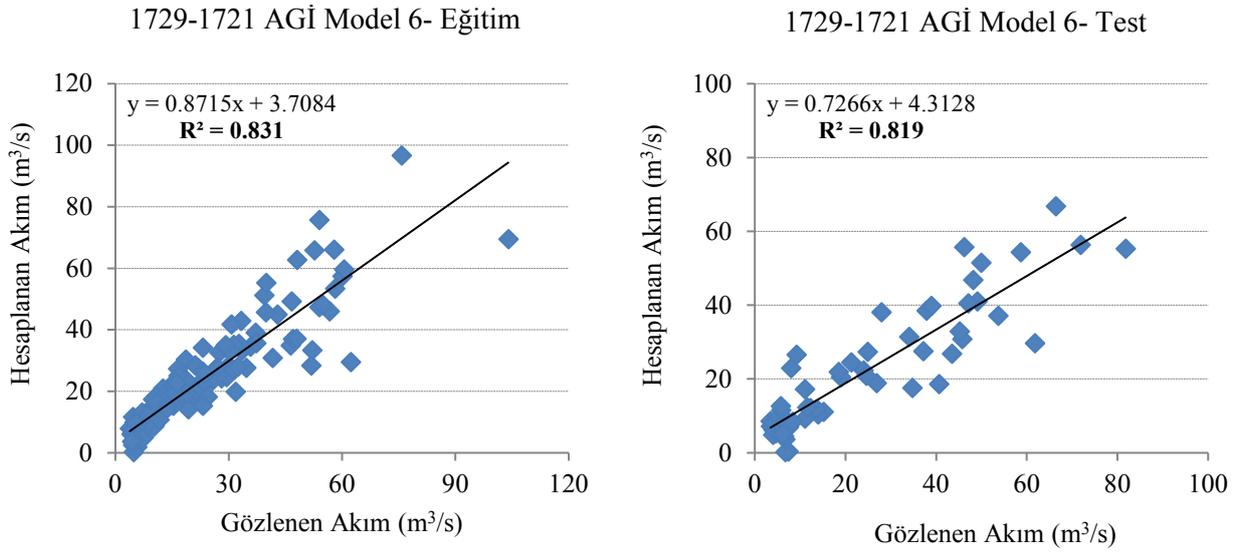
1729-1721 AGİ Model 6 eğitim aşaması için 0.831  $R^2$  belirlilik katsayısı ve 29.725 OMGH değeri elde edilirken; test aşamasında ise 0.819  $R^2$  ve 39.921 OKH değeri gözlemlenmiştir. Tablo 3'te 1729 ile 1721 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları ve Şekil 3'te ise 1729-1721 AGİ Model 6 eğitim ve test korelasyon grafikleri görülebilmektedir.

**Tablo 3.** 1729 ile 1721 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları

Model No	Giriş Verileri	Çıkış Verisi	ÇDOR					
			Eğitim			Test		
			R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH
1	Q1729 <sub>t</sub> Q1721 <sub>t-1</sub>	Q1721 <sub>t</sub>	0.774	75.886	37.584	0.785	99.884	35.544
2	Q1729 <sub>t</sub> Q1721 <sub>t-2</sub> Q1721 <sub>t-1</sub>	Q1721 <sub>t</sub>	0.801	66.949	35.947	0.783	100.390	38.024
3	Q1729 <sub>t</sub> Q1721 <sub>t-3</sub> Q1721 <sub>t-2</sub> Q1721 <sub>t-1</sub>	Q1721 <sub>t</sub>	0.811	64.184	34.759	0.818	88.647	37.879
4	Q1729 <sub>t</sub> Q1721 <sub>t-4</sub> Q1721 <sub>t-3</sub> Q1721 <sub>t-2</sub> Q1721 <sub>t-1</sub>	Q1721 <sub>t</sub>	0.826	59.132	31.567	0.816	88.369	38.114
5	Q1729 <sub>t</sub> Q1721 <sub>t-5</sub> Q1721 <sub>t-4</sub> Q1721 <sub>t-3</sub> Q1721 <sub>t-2</sub> Q1721 <sub>t-1</sub>	Q1721 <sub>t</sub>	0.831	57.251	29.206	0.817	87.212	40.007
6	Q1729 <sub>t</sub> Q1721 <sub>t-6</sub> Q1721 <sub>t-5</sub> Q1721 <sub>t-4</sub> Q1721 <sub>t-3</sub> Q1721 <sub>t-2</sub> Q1721 <sub>t-1</sub>	Q1721 <sub>t</sub>	0.831	57.394	29.725	0.819	86.701	39.921

(*t*: AGİ'nin o aya ait; *t-1*: bir önceki; *t-2*: iki önceki, *t-3*: üç önceki, *t-4*: dört önceki, *t-5*: beş önceki, *t-6*: altı önceki aylara ait zamanlarını göstermektedir.)

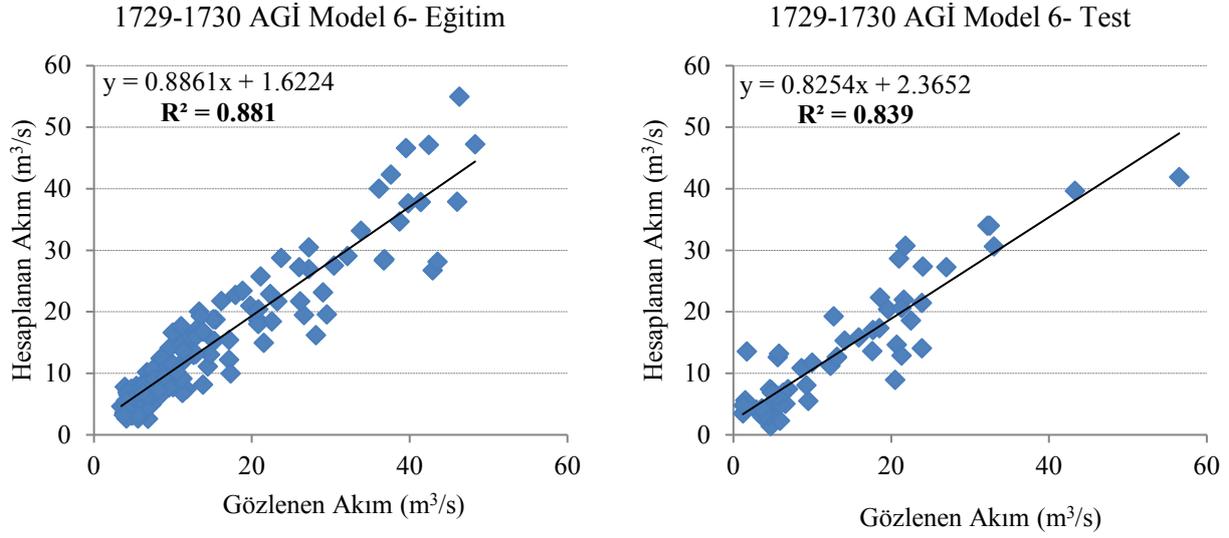
Tablo 4'te 1729 ile 1730 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları ve Şekil 4'te ise 1729-1730 AGİ Model 6 eğitim ve test korelasyon grafikleri görülebilmektedir. 1729-1730 AGİ düzenlemesi Model 6 eğitim aşaması için 0.881 R<sup>2</sup> ve 15.756 OKH değerlerini alırken; test aşamasında ise 0.839 R<sup>2</sup> ve 20.062 OKH değerlerini oluşturmuştur. Tablo 5'te 1829 ile 1820 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları ve Şekil 5'te ise 1829-1820 AGİ Model 1 eğitim ve test korelasyon grafikleri görülebilmektedir. Modellemede eğitim açısından en yüksek R<sup>2</sup> 0.798, test açısından ise 0.874 olarak bulunmuştur. Hata değerinin minimum olduğu değerlendirme kriteri ise OKH 6.285 değeri ile test safhasında gözlenmiştir. Tablo 6'da 1829 ile 1830 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları ve Şekil 6'da 1829-1830 AGİ Model 3 eğitim ve test korelasyon grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 1729-1721 AGİ Model 6 eğitim ve test korelasyon grafikleri

Tablo 4. 1729 ile 1730 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları

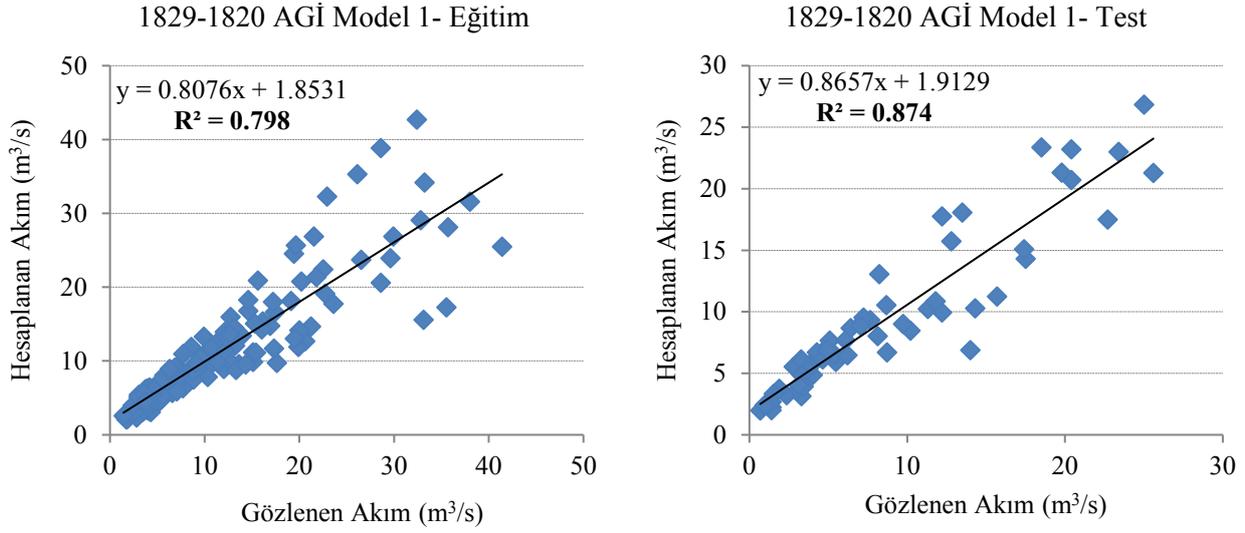
Model No	Giriş Verileri	Çıkış Verisi	ÇDOR					
			Eğitim			Test		
			R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH
1	Q1729 <sub>t</sub> Q1730 <sub>t-1</sub>	Q1730 <sub>t</sub>	0.846	20.326	23.290	0.814	23.105	46.401
2	Q1729 <sub>t</sub> Q1730 <sub>t-2</sub> Q1730 <sub>t-1</sub>	Q1730 <sub>t</sub>	0.878	16.059	22.923	0.836	20.449	47.040
3	Q1729 <sub>t</sub> Q1730 <sub>t-3</sub> Q1730 <sub>t-2</sub> Q1730 <sub>t-1</sub>	Q1730 <sub>t</sub>	0.878	16.061	22.977	0.836	20.430	47.044
4	Q1729 <sub>t</sub> Q1730 <sub>t-4</sub> Q1730 <sub>t-3</sub> Q1730 <sub>t-2</sub> Q1730 <sub>t-1</sub>	Q1730 <sub>t</sub>	0.880	15.876	21.626	0.835	20.536	46.743
5	Q1729 <sub>t</sub> Q1730 <sub>t-5</sub> Q1730 <sub>t-4</sub> Q1730 <sub>t-3</sub> Q1730 <sub>t-2</sub> Q1730 <sub>t-1</sub>	Q1730 <sub>t</sub>	0.880	15.854	21.967	0.836	20.488	46.948
6	Q1729 <sub>t</sub> Q1730 <sub>t-6</sub> Q1730 <sub>t-5</sub> Q1730 <sub>t-4</sub> Q1730 <sub>t-3</sub> Q1730 <sub>t-2</sub> Q1730 <sub>t-1</sub>	Q1730 <sub>t</sub>	0.881	15.756	22.662	0.839	20.062	47.945



Şekil 4. 1729-1730 AGİ Model 6 eğitim ve test korelasyon grafikleri

Tablo 5. 1829 ile 1820 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları

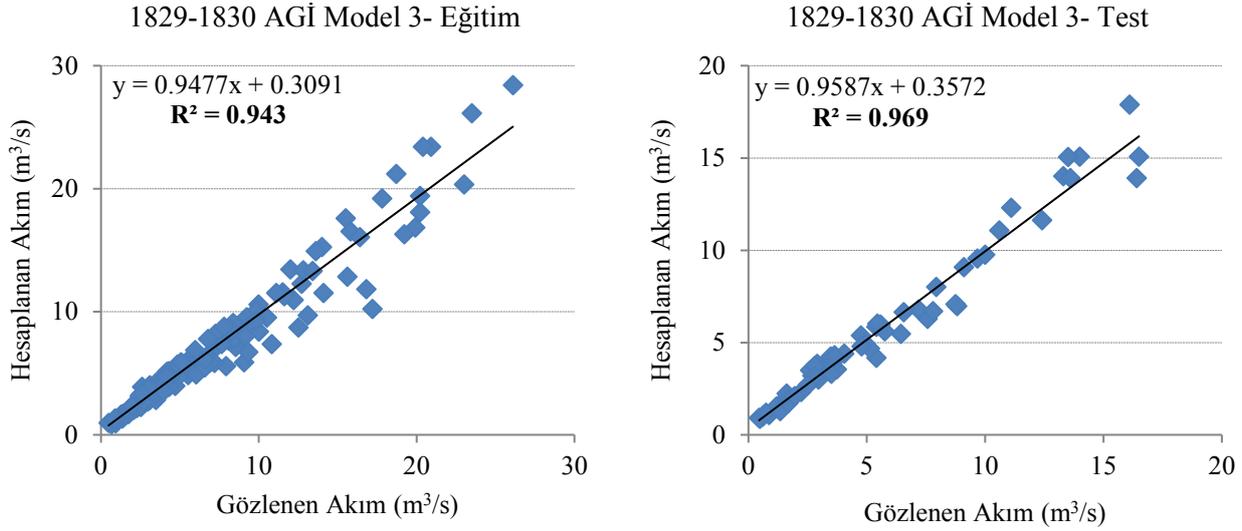
Model No	Giriş Verileri	Çıkış Verisi	ÇDOR					
			Eğitim			Test		
			R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH
1	Q1829 <sub>t</sub> Q1820 <sub>t-1</sub>	Q1820 <sub>t</sub>	0.798	16.108	22.719	0.874	6.285	41.182
2	Q1829 <sub>t</sub> Q1820 <sub>t-2</sub> Q1820 <sub>t-1</sub>	Q1820 <sub>t</sub>	0.800	15.949	23.414	0.874	6.331	41.884
3	Q1829 <sub>t</sub> Q1820 <sub>t-3</sub> Q1820 <sub>t-2</sub> Q1820 <sub>t-1</sub>	Q1820 <sub>t</sub>	0.801	15.835	23.758	0.872	6.479	42.622
4	Q1829 <sub>t</sub> Q1820 <sub>t-4</sub> Q1820 <sub>t-3</sub> Q1820 <sub>t-2</sub> Q1820 <sub>t-1</sub>	Q1820 <sub>t</sub>	0.804	15.588	24.590	0.872	6.561	42.810
5	Q1829 <sub>t</sub> Q1820 <sub>t-5</sub> Q1820 <sub>t-4</sub> Q1820 <sub>t-3</sub> Q1820 <sub>t-2</sub> Q1820 <sub>t-1</sub>	Q1820 <sub>t</sub>	0.810	15.238	24.998	0.867	6.929	46.249
6	Q1829 <sub>t</sub> Q1820 <sub>t-6</sub> Q1820 <sub>t-5</sub> Q1820 <sub>t-4</sub> Q1820 <sub>t-3</sub> Q1820 <sub>t-2</sub> Q1820 <sub>t-1</sub>	Q1820 <sub>t</sub>	0.809	15.226	25.285	0.867	6.865	44.886



Şekil 5. 1829-1820 AGİ Model 1 eğitim ve test korelasyon grafikleri

Tablo 6. 1829 ile 1830 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları

Model No	Giriş Verileri	Çıkış Verisi	ÇDOR					
			Eğitim			Test		
			R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH
1	Q1829 <sub>t</sub> Q1830 <sub>t-1</sub>	Q1830 <sub>t</sub>	0.943	1.817	14.675	0.968	0.627	17.501
2	Q1829 <sub>t</sub> Q1830 <sub>t-2</sub> Q1830 <sub>t-1</sub>	Q1830 <sub>t</sub>	0.943	1.813	14.476	0.969	0.612	17.454
3	<b>Q1829<sub>t</sub></b> <b>Q1830<sub>t-3</sub></b> <b>Q1830<sub>t-2</sub></b> <b>Q1830<sub>t-1</sub></b>	<b>Q1830<sub>t</sub></b>	<b>0.943</b>	<b>1.810</b>	<b>14.177</b>	<b>0.969</b>	<b>0.609</b>	<b>17.630</b>
4	Q1829 <sub>t</sub> Q1830 <sub>t-4</sub> Q1830 <sub>t-3</sub> Q1830 <sub>t-2</sub> Q1830 <sub>t-1</sub>	Q1830 <sub>t</sub>	0.946	1.725	14.574	0.968	0.627	17.698
5	Q1829 <sub>t</sub> Q1830 <sub>t-5</sub> Q1830 <sub>t-4</sub> Q1830 <sub>t-3</sub> Q1830 <sub>t-2</sub> Q1830 <sub>t-1</sub>	Q1830 <sub>t</sub>	0.947	1.674	15.446	0.969	0.625	20.029
6	Q1829 <sub>t</sub> Q1830 <sub>t-6</sub> Q1830 <sub>t-5</sub> Q1830 <sub>t-4</sub> Q1830 <sub>t-3</sub> Q1830 <sub>t-2</sub> Q1830 <sub>t-1</sub>	Q1830 <sub>t</sub>	0.947	1.671	15.559	0.969	0.617	19.302



Şekil 6. 1829-1830 AGİ Model 3 eğitim ve test korelasyon grafikleri

Özellikle Tablo 6 ve Şekil 6'daki modelleme yapısında eğitim açısından en yüksek  $R^2$  0.943, test aşamasında ise 0.969 olarak elde edilmiştir. Hata değerinin tüm modellemeler bakımından en düşük olarak gözlemlendiği bu sonuçlarda OKH özellikle test aşamasında sıfıra oldukça yakın bir değer üretmiştir. Bu çalışma kapsamında birbirine yakın, ardışık ve havza özellikleri açısından oldukça benzer yapılar sahip gözlem istasyonları tercih edildiğinden giriş verilerine topoğrafik ve coğrafi karakteristikler dahil edilmemiştir. Bu parametrelerin elde edilen sonuçlara etkisinin ihmal edilecek düzeyde olabileceği değerlendirilmiş olup, sadece akım verileri açısından modellemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma bir bütün olarak göz önüne alındığında özellikle maksimum  $R^2$ ; minimum OKH ve OMGH kriterleri açısından 1829 ile 1830 AGİ ÇDOR sonuçları en uygun model yapısı olarak değerlendirilebilir. Test aşamasında yaklaşık 0.97 determinasyon katsayısı ve 0.609 OKH çalışmanın optimum değerleri olarak dikkat çekmektedir. Sonrasında 1829 ile 1820 AGİ sonuçları en iyi ikinci model yapısı olarak görülmektedir. Özellikle OKH kriteri açısından yine en düşük sonuçlar ortaya çıkmıştır. 1729 ile 1730 AGİ sonuçları ise üçüncü iyi model yapısı olarak gözlenmiştir. Ancak her iki değerlendirme ölçütleri bakımından eğitim aşamasına göre test sürecinde yüksek oranlar tespit edilmiştir. 1729 ile 1721 AGİ ÇDOR modelleme sonuçları en düşük korelasyonu oluşturmuştur. Hatta söz konusu ölçütlerden OKH bu modelleme yapısında maksimum değerler vermektedir. 18 nolu AGİ istasyon verileri ile oluşturulan model yapıları 17 nolu AGİ'ler ile elde edilen modellemelere nazaran test aşamasında yüksek korelasyon ve OKH kriteri yönünden düşük hata değerleri ortaya koymaktadır. Tüm eğitim ve test sonuçları sadece 1829 ile 1830 AGİ modellemeleri haricinde birbirine yakın değerler üretmiş olup, yaklaşık 0.80 ve üzeri korelasyon değerlerine ulaşmıştır. Giriş veri sayıları ele alındığında ise 17 nolu istasyonların modellerinde 6

önceki ay verilerinin dahil olduğu modellemeler eksik gözlemlerin tahmininde başarılı görülürken, oysaki 18 nolu AGİ'lerin tahmininde yüksek başarı daha az giriş yapıları ile elde edilmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada aynı akarsu güzergahında yer alan ve Doğu Akdeniz Havzası'ndaki 1721, 1729 ve 1730 ile Seyhan Havzası'ndaki 1820, 1829 ve 1830 numaralı ardışık akım gözlem istasyonları verilerinden yararlanılmıştır. 1729 ve 1829 AGİ verileri bağımsız değişken; diğer istasyonların verileri ise bağımlı değişken olmak üzere çeşitli giriş kombinasyonları üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Modellemelerde Doğu Akdeniz Havzası AGİ'lerinde 1994 su yılı; Seyhan Havzası'nda ise 1993 su yılı gözlemleri eksik olduğundan en fazla 6 önceki zaman aylık verileri gecikme zamanı olarak öngörülmüştür. Literatürde zaman serisi olarak girdi parametrelerinde çeşitli önceki adım sayıları söz konusu olup, çalışma genelinde 6 ay ve öncesi girişlerin bir önceki model değerlendirmelerine kıyasla sonuçlarda pek bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir. Dolayısı ile modellemeler bu çerçevede, MS-Excel programı kullanılarak ÇDOR yöntemi ile analiz edilmiştir. Verilerin %70'i eğitim, kalan %30'u ise test sürecinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) performans kriterlerine göre incelenmiştir.

Modelleme sonuçlarına göre 1829 ile 1830 AGİ ÇDOR sonuçları en uygun model yapısı olarak ifade edilebilir. Bu modellemede eğitim aşamasında en yüksek  $R^2$  0.943 ile, test aşamasında ise 0.969 olarak elde edilmiştir. Hata değerinin tüm modellemeler bakımından en düşük olarak gözlemlendiği bu sonuçlarda OKH kriteri özellikle test aşamasında sıfıra çok yakın bir değer vermiştir. Birbirine oldukça yakın istasyonlarda korelasyon değerlerinin yüksek, hata miktarlarının ise düşük olduğu söylenebilir. İlerleyen zamanlarda çeşitli hidrometeorolojik verilerin giriş verisi olarak değerlendirildiği çalışmalarla birlikte doğrusal olmayan regresyon sonuçları elde edilebilir, bu sonuçların literatürdeki uygulamalarla olan benzerlik ve farklılıkları irdelenebilir. Su kaynaklarının etkili yönetimi süreçleri ele alındığında eksik verilerin doğruya yakın bir şekilde tahmin edilmesi büyük önem taşımakta olup, bu sayede mevcut su kaynakları üzerine inşa edilmesi planlanan yapıların özellikle tasarımı açısından uygun çözümler gerçekleştirilebilecektir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Anusree, K., ve Varghese, K. O. (2016). Streamflow prediction of Karuvannur River Basin using ANFIS, ANN and MNLR models. *Procedia Technology*, 24, 101-108. [https://doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.015](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.015)
- Babacan, H. T., ve Saka, F. (2022). Makine öğrenmesi ile Aksu Deresi'nde akış tahmin modeli geliştirilmesi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 6(1), 1-11.
- Burgan, H. İ. (2022). Comparison of different ANN (FFBP GRNN RBF) algorithms and multiple linear regression for daily streamflow prediction in Kocasu river – Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(5), 4699-4708.
- Dayan, F., Demirci, M., Üneş, F., ve Taşar, B. (2021). Nehirlerdeki katı madde miktarının Bulanık SMGRT yöntemi ile tahmini. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 294-307.
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) (2011). *Akım gözlem yıllıkları*, Ankara. (Erişim tarihi: 01.06.2022)
- Gümüş, V., Kavşut, M. E., ve Yenigün, K. (2011). Yağış-akış ilişkisinin modellenmesinde YSA kullanımının değerlendirilmesi: Orta Fırat Havzası uygulaması. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(1), 389-397.
- Gümüş, V., ve Kavşut, M. E. (2013). Zamanti Nehri-Ergenüşağı istasyonu eksik aylık akım verilerinin tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji GU J Sci Part:C*, 1(2): 81-91.
- Gümüş, V., Soydan, N. G., Şimşek, O., Aköz, M. S., ve Kırkgöz, M. S. (2013). Yağış-akış ilişkisinin belirlenmesinde farklı yapay sinir ağı yöntemlerinin karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 37-49.
- Harun, M. A., Safari, M. J. S., Gul, E., ve Ghani, A. A. (2021). Regression models for sediment transport in tropical rivers. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 53097-53115. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14479-0>
- Kaya, Y. Z., Zelenakova, M., Üneş, F., Demirci, M., Hlavata, H., ve Mesaros, P. (2021). Estimation of daily evapotranspiration in Košice City (Slovakia) using several soft computing techniques. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 287-298. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03525-z>
- Kaya, S., ve Babacan, E. K. (2021). Bayesci yaklaşım ile regresyon modellerinde parametre tahmini. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 439-462. <https://doi.org/10.31466/kfbd.910703>
- Poul, A. K., Shourian, M., ve Ebrahimi, H. (2019). A comparative study of MLR, KNN, ANN and ANFIS models with Wavelet Transform in monthly stream flow prediction. *Water Resources Management*, 33, 2907-2923. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02273-0>
- Ravansalar, M., Rajae, ve Kisi, O. (2017). Wavelet-linear genetic programming: A new approach for modeling monthly streamflow. *Journal of Hydrology*, 546, 461-475. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.04.018>
- Rezaeianzadeh, M., Tabari, H., Yazdi, A. A., Isik, S., ve Kalin, L. (2014). Flood flow forecasting using ANN, ANFIS and regression models. *Neural Comput & Applic*, 25, 25-37. <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1443-6>
- Seçkin, N., Güven, A., ve Yurtal, R. (2010). Taşkın debilerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi: Batı Karadeniz Havzası örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1-2), 45-57.
- Seçkin, N. (2011). Modeling flood discharge at ungauged sites across Turkey using neuro-fuzzy and neural networks. *Journal of Hydroinformatics*, 13(4), 842-849. <https://doi.org/10.2166/hydro.2010.046>
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2019). *Doğu Akdeniz Havzası taşkın yönetim planı*. Ankara.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2020). *Seyhan Havzası taşkın yönetim planı*. Ankara.



- Terzi, Ö., ve Önal, S. (2012). Application of artificial neural networks and multiple linear regression to forecast monthly river flow in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 7(8), 1317-1323. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1426>
- Turhan, E. (2012). *Seyhan Havzası'nın yağış-akış ilişkisinin yapay sinir ağları yöntemi ile modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Turhan, E., ve Özmen-Çağatay, H. (2016a). Eksik akım verilerinin tahmin modelinin oluşturulmasında yapay sinir ağlarının kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü akım gözlem istasyonu örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 93-106.
- Turhan, E., Özmen-Çağatay, H., ve Çetin, A. (2016b). Yapay sinir ağı yöntemleri ile Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası yağış-akış ilişkisinin modellenmesi ve yağışlı-kurak dönemler açısından irdelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 227-241.
- Turhan, E. (2021). A comparative evaluation of the use of artificial neural networks for modeling the rainfall-runoff relationship in water resources management. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 166-178. <https://doi.org/10.12911/22998993/135775>
- Uluğtekin, N., Bektas, F., Dogru, A. O., Goksel, C., Alaton, I. A., ve Orhon, D. (2005). The use of remote sensing and GIS technologies for comprehensive wastewater management. *Conference: 31. International Symposium on Remote Sensing of Environment, Global Monitoring for Sustainability and Security*, USA.
- Üneş, F., Taşar, B., Demirci, M., Zelenakova, M., Kaya, Y. Z., Varçin, H. (2021). Daily suspended sediment prediction using seasonal time series and artificial intelligence techniques. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 23, 117-137. <https://doi.org/10.54740/ros.2021.008>
- Yıldıran, A., ve Kandemir, S. Y. (2018). Yağış miktarının yapay sinir ağları ile tahmini. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 97-104.
- Yıldıran, A., ve Kandemir, S. Y. (2020). Porsuk çayı akım verilerinin değerlendirilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(1), 329-340. <https://doi.org/10.24012/dumf.448627>
- Zakaria, Z. A., ve Shabri, A. (2012). Streamflow forecasting at ungaged sites using support vector machines. *Applied Mathematical Sciences*, 60(6), 3003-3014.
- Zhang, Z., Zhang, Q., ve Singh, V. P. (2018). Univariate streamflow forecasting using commonly used data-driven models: literature review and case study. *Hydrological Sciences Journal*, 63(7), 1091-1111. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1469756>

## Alüminyum Matrisli Kompozitler İçin En Uygun Takviye Malzemesinin AHP Yöntemi ile Seçimi

Yaşam KANDEMİR<sup>1,2</sup>, Temel VAROL<sup>2\*</sup>

### Öz

Düşük yoğunluk, yüksek sertlik, iyi aşınma direnci ve yüksek özgül mukavemet özelliklerine sahip olan Metal matris kompozitler ileri mühendislik malzemelerinin önemli bir türüdür ve bu özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv, savunma, havacılık sektörlerinde tercih edilmektedirler. Alüminyum metal matris kompozitler düşük yoğunluk, ucuzluk ve kolay üretim gibi özellikleri ile metal matrisli kompozitlerin önemli bir sınıfını oluşturmaktadır. Metal matris kompozitlerin mukavemet ve sertlik gibi mekanik özelliklerini ve yüksek sıcaklık dayanımını geliştiren ana unsur seramik esaslı takviye elemanlarıdır. Bu noktada takviye malzemelerinin seçimi oldukça kritiktir. Bu çalışmada takviye malzemesi seçimine karar vermek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi kullanılmıştır. Seçim kriterleri olarak rijitlik, yoğunluk, kırılma tokluğu, fiyat ve ergime noktası seçilmiştir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde en çok tercih edilen takviye malzemeleri olan B<sub>4</sub>C, TiC, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alternatif takviye türü olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda en önemli seçim kriterinin rijitlik (%51), en uygun alternatif takviye malzemesinin ise B<sub>4</sub>C (%42) olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum metal matris kompozit, Analitik hiyerarşi prosesi (AHP), Takviye malzemesi, Bor karbür, Titanyum karbür.

## Selection of the Most Appropriate Reinforcement Material for Aluminum Matrix Composites by AHP Method

### Abstract

Metal matrix composites, which have low density, high hardness, good wear resistance and high specific strength properties, are an important type of advanced engineering materials and they are preferred especially in the automotive, defense and aerospace sectors due to these properties. Aluminum metal matrix composites constitute an important class of metal matrix composites with their features such as low density, cheapness and easy production. The main element that improves the mechanical properties of metal matrix composites such as strength and hardness and high temperature resistance is ceramic-based reinforcing elements. At this point, the selection of reinforcement materials is very critical. In this study, the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method, which is one of the multi-criteria decision-making methods, is used to decide on the choice of reinforcement material. Rigidity, density, fracture toughness, price and melting point are chosen as selection criteria. B<sub>4</sub>C, TiC, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, which are the most preferred reinforcement materials in the production of metal matrix composites, are chosen as alternative reinforcement types. As a result of the study, it has been determined that the most important selection criterion is rigidity (51%) and the most suitable alternative reinforcement material is B<sub>4</sub>C (42%).

**Keywords:** Aluminum metal matrix composite, Analytical hierarchy process (AHP), Reinforcement material, Boron carbide, Titanium carbide.

<sup>1</sup>Trabzon Silah Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Trabzon, Türkiye, ykandemir41@gmail.com

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, tvarol@ktu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5718-6972>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1159-5383>

## 1. Giriş

Malzeme biliminin esasını teşkil eden metal, polimer ve seramik malzemelerin birbiri içinde çözünmeyecek şekilde mikro ve makro olarak bir araya getirilmesi ile oluşan ve ana malzeme özelliklerinden farklı fiziksel ve mekanik özellikler sergileyen malzemeler olarak tanımlanan kompozit malzemelerin kullanımı günden güne artmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ve ihtiyaç duyulan gereksinimlere bağlı olarak kompozit malzemeler de çok sayıda alt gruba ayrılmış ve yeni tür kompozit esaslı malzemeler geliştirilmiştir (Onaran, 1993). Bu kompozit türlerinden biri de metal matrisli kompozit malzemelerdir. Yüksek özgül mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık dayanımı, iyi derecede aşınma direnci, üstün darbe direnci ve yüksek sertlik gibi özelliklerin aynı malzeme bünyesinde elde edilmesini sağlayan metal matrisli kompozitler otomotiv, savunma, havacılık ve yapısal uygulamalarda tercih edilen bir malzeme türü haline gelmiştir (Chakravarthy ve Rao, 2022).

Metal matris kompozitlerde kullanılan iki ana elaman matris ve takviyedir. Matris malzemesinin ana görevi: kompozit malzeme üzerine gelen yükleri takviye malzemelerine iletmek, çatlak yayılmasını önlemek, takviye elemanlarını bir arada tutmak, kompozit malzemenin tokluğunu artırmak iken, takviye malzemesinin görevi ise yüksek darbe ve aşınma direnci sağlayarak kompozit yapının sertliğini ve rijitliğini arttırmak, aşınma direncini geliştirmek ve yüksek sıcaklık dayanımı sağlamaktır (Varol, 2012; Varol, 2016). Matris türüne göre alüminyum, bakır, magnezyum, çinko ve titanyum esaslı metal matrisli kompozitler en çok tercih edilen metal matrisli kompozitler olup özellikle alüminyum matrisli kompozitler sahip oldukları düşük yoğunluk, ucuzluk ve kolay üretim özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar (Siddharthan ve ark., 2022). Takviye türüne göre ticarileşmiş ve üzerinde araştırma yapılan metal matrisli kompozitler ise genellikle alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), silisyum karbür (SiC), bor karbür ( $B_4C$ ) ve titanyum karbür (TiC) takviyeli metal matrisli kompozitlerdir (Emiru ve ark., 2022; Surya ve Gugulothu, 2021; Qiao ve ark., 2022).

Literatürde takviye türü ve oranının (Taşkın ve ark., 2022), matris türü ve miktarının (Paul ve ark., 2022) ve üretim yönteminin (Luo ve ark., 2022) metal matrisli kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı çok sayıda araştırma çalışması vardır. Güler ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada bakır matrisli metal matrisli kompozitlerin özellikleri üzerine  $Al_2O_3$  takviye oranının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre aşınma oranı ağırlıkça %3  $Al_2O_3$  miktarına kadar düşüş göstermiş ve artan  $Al_2O_3$  miktarı ile kompozit yapısında oluşan gözenek miktarındaki artış sebebiyle bu oran yükselmiştir (Güler ve ark., 2021). Varol ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise AA2024 matrisli SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine SiC oranının etkisi araştırılmış ve bu etki için yapay sinir ağı temelli tahmin modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre artan SiC oranı ile yoğunluk

değerleri azalmış buna karşın sertlik değerlerinde önemli artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulan tahmin modelleri ile yoğunluk ve sertlik değerleri için yapılan tahminlerde başarı oranı %99 olarak belirlenmiştir (Varol ve ark., 2018). Varol ve Çanakçı tarafından yapılan başka bir çalışmada ise AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin özellikleri üzerine B<sub>4</sub>C oranı ve boyutunun etkisi araştırılmış ve takviye oranı artışına ek olarak takviye boyutunun da metal matrisli kompozitlerin özelliklerini etkilediği vurgulanmıştır (Varol ve Çanakçı, 2013).

Yukarıda açıklanan çalışmalarda görüldüğü gibi metal matrisli kompozitlerin üretimi ve özellikleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmasına ek olarak araştırmacılar tarafından çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile matris ve proses değişkenlerini belirleme çalışmaları da yürütülmüştür. Avikala ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada maliyet, yoğunluk, sertlik, gerilme ve ergime noktası kriterlerine bağlı olarak 7000 serisi alaşım türlerinin seçimi için kriter ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile belirlenerek TOPSIS yöntemi ile en uygun matris türü belirlenmeye çalışılmıştır (Avikala ve ark., 2021). Kumar ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada, proses optimizasyonu için 6 farklı proses parametresi ( $I_p$ ,  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ ,  $W_f$ ,  $W_t$ ,  $SV$ ) ve talaş kaldırma oranı, yüzey pürüzlülüğü ve kıvılcım boşluğu olmak üzere 3 yanıt parametresi (MRR, SR, SG) dikkate alınarak Taguchi  $L_{27}$  deney düzeneği ile parametre etkileri araştırılmış ve AHP, Genetik Algoritma yöntemi ile değerlendirmelerde bulunulmuştur (Kumar, 2022). Başka bir çalışmada ise karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen AA7050/B<sub>4</sub>C kompozitlerinin işlenmesi için kullanılan EDM prosesine ait parametrelerin optimizasyonu Taguchi yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır (Kumar ve ark., 2019). Sharma ve arkadaşları tarafından yapılan araştırma çalışmasında farklı Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> oranlarına sahip olan 5 ayrı kompozit malzeme TOPSIS, VIKOR, COPRAS, PROMETHEE II karar verme yöntemleri ile incelenerek en uygun kompozit malzemenin AA8011-%15 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> olduğuna karar vermişlerdir (Sharma ve ark., 2022). Kumar ve arkadaşları ise yarı otomatik karışım döküm yöntemi ile hazırlanan SiO<sub>2</sub> ve SiC seramik partikülleri takviyeli AA2024 kompozit malzemeleri arasında PSI yöntemini kullanarak en uygun kompozit malzeme seçimi yapmışlardır. Bu malzeme seçimi ile beraber yoğunluk, eğme dayanımı, gerilme kuvveti, darbe dayanımı, aşınma direnci kriterlerini araştırmışlardır (Kumar ve Kumar, 2020). Yapılan tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında metal matrisli kompozit üretimi ile ilgili olarak kullanılacak takviye malzemesi seçimini çok kriterli karar verme yöntemleri ile birleştiren bir araştırma çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı savunma, havacılık ve otomotiv sanayinde sıklıkla kullanılan Al matrisli kompozitler için en uygun takviye türünün çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile belirlenmesidir. AHP yöntemini esas aldığımız bu çalışmada kriter ve alternatifler için etkin bir sonuç, sistematik bir yaklaşım içeren Super Decisions uygulaması tercih edilmiştir. Super Decisions ile birlikte karar verme süreçlerinin uygulanabilirliği kolaylaşmakta ve en uygun alternatif seçimi ile kriter değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır (Kaplan ve Saray, 2014). Bu doğrultuda Al matrisli

kompozit üretiminde sıklıkla tercih edilen dört farklı takviye türü ( $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$ , TiC) arasından en uygun olanının seçimi için rijitlik, yoğunluk, fiyat, kırılma tokluğu, ergime noktası kriterleri dikkate alınmıştır. Bu çalışma ile metal matrisli kompozit malzeme için en uygun takviye malzeme seçiminin belirlenmesi ve en etkin kriterin ortaya konması hedeflenmiştir.

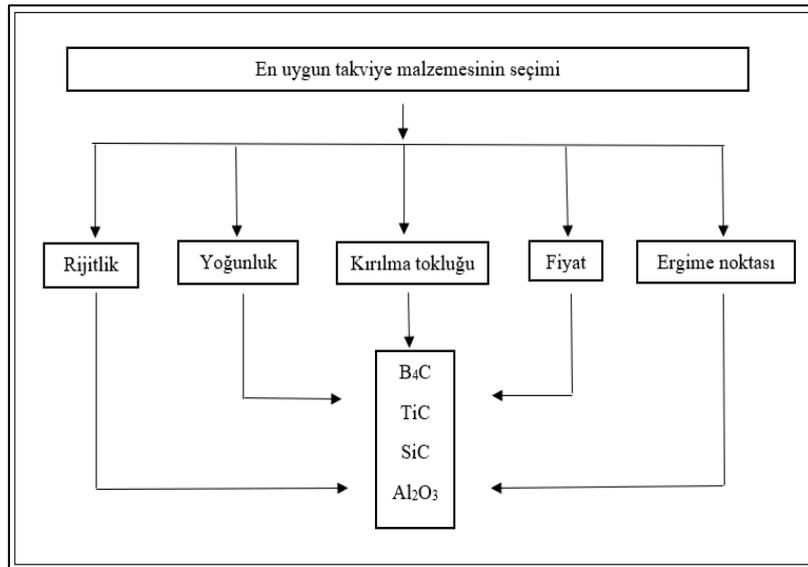
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi

AHP, Saaty ile ortaya konan analitik karar verme mekanizmasıdır ve hiyerarşik bir yapı ile kriter ve alternatifleri değerlendiren adımları oluşturan bir yöntemdir. Kriterler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak, birbiriyle matematiksel oranlar ortaya koyan bir karar sürecidir. Hedef, birden çok kriter ile birden çok alternatifin bulunduğu bir problemde karar mekanizmasını kolaylaştırmak ve oluşturulan hiyerarşik yapı doğrultusunda çözümler üretmektir. Matrisler oluşturulurken 9'lu Saaty ölçeği kullanılmakta ve bu ölçek yardımıyla matris elemanları arasındaki ilişkiler ortaya konmaktadır. AHP uygulama aşamaları şu sıra ile takip edilmektedir:

#### 2.1.1. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Bu yapı oluşturulurken amaç, kriterler ve alternatifler belirlenmektedir. Uzman görüşleri doğrultusunda hazırlanan bu seçenekler, Şekil 1'de ortaya konan hiyerarşik yapı ile entegre bir oluşum göstermektedir.



Şekil 1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

### 2.1.2. Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken uzman fikirleri doğrultusunda probleme esas teşkil eden ana kriterler, alt kriterler ve alternatifleri içeren matrise karar verilir. Matris oluşturulduktan sonra Tablo 1’de gösterilen Saaty ölçeği ile ortaya konan 1-9 arası değerlendirme ölçütlerine göre matris elemanlarına ölçütler atanır.

Matris elemanları arasında biri ötekine göre daha önemli olan elemanın bulunduğu satır tamsayı olarak ifade edilir ancak daha az önemli olan elemanın satırı ise kesirli olarak yazılır. Bu şekilde hem kriterler için karşılaştırma matrisi hem de her bir alt kriter için alternatifler kendi aralarında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Saaty ölçeğine göre oluşturulan skalalar, kriterler arası değerlendirmelerde bulunmak için kullanılmaktadır.

**Tablo 1.** Saaty ölçeği değerlendirme skalası

Önem Değerleri ( $a_{ij}$ )	Açıklama
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Mutlak derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler

### 2.1.3. İkili Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matris değerleri kendi aralarında normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize işlemi, matris bulunan değer skalalarını tek bir düzeye indirmek için uygulanmaktadır. Ayrıca normalize işlemi için farklı formüller uygulanmaktadır (Özdağoğlu, 2013).

En yaygın kullanılan normalizasyon örneğinin formülü, Denklem 1’de gösterildiği gibi matris sütununda her bir değer sütun toplamına bölünerek elde edildiği normalizasyon örneğidir.

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \quad (1)$$

### 2.1.4. Öncelik Vektörü ve Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Normalize matris oluşturulduktan sonra her satırın ortalaması Denklem 2’de gösterildiği gibi alınmaktadır. Satır ortalamaları, her satırın toplamının satırdaki eleman sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Her satırın ortalaması alındıktan sonra elde edilen her bir değer önem ağırlıklarını ( $w$ ) göstermektedir.

$$w = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \quad (2)$$

Öncelik vektör değerleri aşağıda belirtilmiştir. Vektör değerlerinin sıralaması aynı zamanda kriter ağırlıkları anlamına gelmektedir. Bu sayede en etkin kriterler bu matriste görülmektedir.

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_n \end{bmatrix}$$

Şekil 2. Örnek önem ağırlık matrisi

Önem ağırlıkları ile matris değerleri çarpıldıktan sonra her bir satırın toplamının değeri önem ağırlıklarına bölünür. Oluşan değerlerin toplam ortalaması Denklem 3’te gösterildiği üzere “ $\lambda$ ” değerini ifade etmektedir.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (3)$$

Tablo 2’de gösterilen rassal değerler, Denklem 4 ve Denklem 5 formülasyonları kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanmaktadır.

**Tablo 2.** Karşılaştırma matrisinde kullanılan rassal değerler (Saaty, 2013)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tutarlılık oranı “consistency rate” (CR), tutarlılık göstergesi” consistency indicator” (CI), rassal indeks “random index” (RI) olarak formülasyonlarda gösterilmektedir. CR değerinin %10’dan az olması beklenmektedir. Tutarlılık oranının %10’dan az çıkması değerlendirilen alternatif ve kriterlerin ikili ilişkilerinin tutarlı olduğunu ve elde edilen sonuçların pozitif yönde katkı

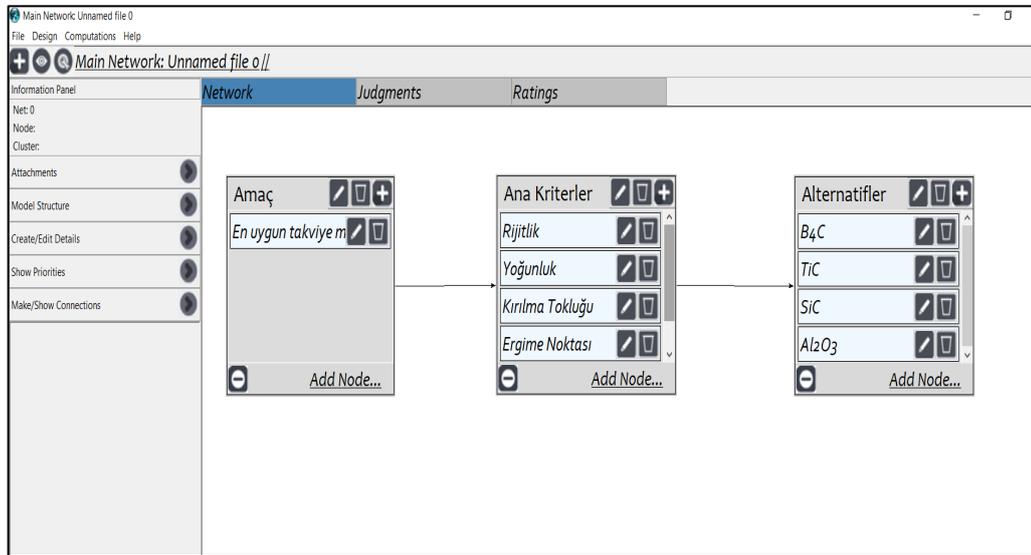
sağlayacağını göstermektedir. Bu sayede ilgili alternatifler arasında sağlıklı değerlendirmeler yapılmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

## 2.2. Super Decisions Uygulaması

Super Decisions, Analitik Hiyerarşi Proses ve Analitik Ağ Proses yöntemlerine uygulama imkânı sunan bir araçtır. Bu araç, karar vericilerin veya karar aşamasında olan kullanıcıların kolaylıkla uygulayabildiği ve manuel olarak uzun süren işlem adımlarının kısa sürede neticeye varmasını sağlayan bir yazılımdır. Bu yazılımı uygulamak için problemin tanımlanması, kriter ve alternatiflerin belirlenmesi ve karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Bu aşamalar ile birlikte kriter önceliklerinin ve ikili karşılaştırma matris değerlerinin belirlenmiş olması önem arz etmektedir. Bu adımlar izlendikten sonra Şekil 3'te gösterildiği gibi hiyerarşik yapının programa aktarılma süreci başlamaktadır.



Şekil 3. Super decisions uygulaması ana ekranı

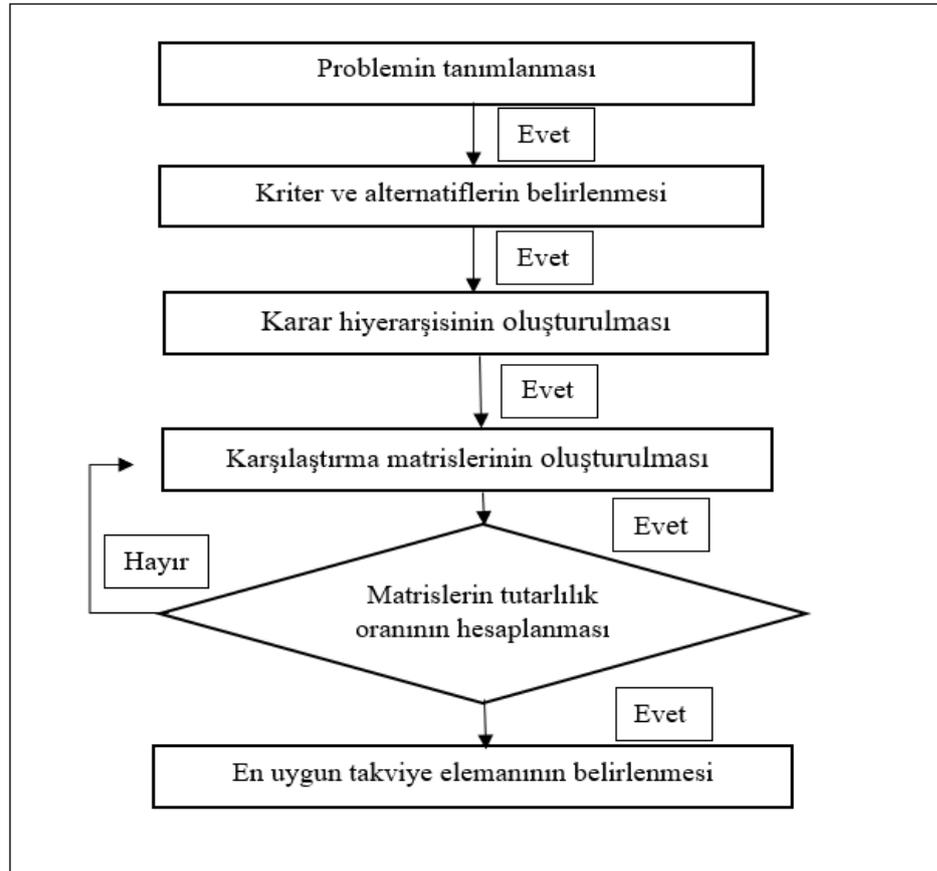
Hiyerarşik yapı tamamlandıktan sonra, yapının programa aktarılması ile birlikte kriter öncelikleri belirlendikten sonra kriter ağırlıkları hesaplanır. Eş zamanlı olarak alternatif değerleri de programa eklendiği için alternatif ağırlıklarını eş zamanlı olarak program bize sunmaktadır. Bu adımlar sonucunda sistematik bir yaklaşım ortaya konmaktadır.



### 3. Bulgular

Alüminyum metal matris kompozitler için en uygun takviye elemanı seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi tercih edilmiştir. AHP yönteminin tercih edilme sebepleri arasında her bir kriteri ve her bir alternatifi ayrı ayrı ele alarak tutarlı ve istikrarlı sonuçlar üretmesidir. Yöntemin uygulanması açısından tercih edilmekte olan “Super Decisions V3.2” karar destek yazılımı kullanılmıştır. Bununla birlikte karar algoritması Şekil 5’te gösterilmiştir. Bu doğrultuda yazılımdaki uygulama aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

1. Problemin tanımlanması
2. Kriterler ve alternatiflerin belirlenerek karar algoritmasının oluşturulması
3. Uzmanlar tarafından kriter ve alternatifler arasında öncelik tahminlerinin yapılması
4. Kriter ve alternatifler arasında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
5. İkili karşılaştırma matrislerinin yazılıma girişinin yapılması
6. Kriterler arası önem ağırlıklarının hesaplanması
7. Her bir kriter için alternatifler arası ağırlıkların hesaplanması
8. Alternatifler arası önem ağırlıklarının belirlenmesi
9. Sonuçların grafiksel olarak tablolaştırılması



Şekil 4. Karar diyagramı

### 3.1. Problemin Tanımlanması

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin sistematığına bakıldığında ilk aşama, problemin tanımlanma aşamasıdır. Bir problem tanımlanırken kendi sistematığı içerisinde belirlenen ölçütlerin neden ortaya konduğu açıklanmalıdır. Bu çalışmada metal matris kompozitlere en uygun takviye malzemesi seçiminde tanımlanan problem şu şekilde açıklanmaktadır:

Metal matrisli kompozitlerin üretimi için iki ana problem matris ve takviye malzemesi türünü belirlemektedir. Genel olarak yapısal imalat uygulamalarında hafiflik, düşük maliyet, yüksek korozyon direnci özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak alüminyum ve alaşımları tercih edilir. Takviye malzemeleri için ise bu şekilde net bir ayırım yapmak mümkün değildir. Bunun nedeni matris malzemeleri kadar tanınmıyor olmamaları, üretimlerinin ve ulaşılabilirliklerinin zor olması, saflıklarına bağlı olarak özelliklerinin değişmesidir. Bu nedenle çok ölçütlü karar verme yöntemleri içinde sıklıkla tercih edilen AHP yöntemi ile Al matrisli kompozitler için takviye malzemesi seçimi problemi tanımlanmıştır.

### 3.2. Kriter ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Problem tanımlandıktan sonra uzman görüşü alınarak matris malzemesine takviye elemanları ve bu elemanların kriterleri belirlenerek alternatif ve kriterleri içeren Tabloda gösterilmiştir. Kriterlerin uzman görüşü doğrultusundaki sıralaması “Rijitlik-Yoğunluk-Ergime Noktası-Fiyat-Kırılma Tokluğu” şeklindedir. Fiyat kriteri %99 ve üzeri Saflık, 5-10 mikron boyut aralığında ve 100 gr esas alınarak değerlendirilmiştir. Takviye elemanı olarak titanyum karbür (TiC), bor karbür (B<sub>4</sub>C), silisyum karbür (SiC), alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) belirlenmiştir. Esas alınan birimler Tablo 3’te belirtilmiştir.

Rijitlik: Kuvvet etkisi altında şekil değişimine karşı gösterilen direnç olarak adlandırılan ve Elastisite Modülü ile ifade edilen rijitlik, metal matrisli kompozit yapıda takviye elemanı olarak kullanılan seramik esaslı malzemeler kullanılarak geliştirilmektedir. Takviye elemanına ait en önemli özelliklerden biri olan rijitlik değerleri bu nedenle AHP yapısında bir seçim kriteri olarak seçilmiştir.

Yoğunluk: Genel olarak metal matrisli kompozitlerin sağladığı üstünlüklerden biri de düşük yoğunluktur. Bu nedenle seçim kriteri olarak dikkate alınmalıdır. Al matrisli kompozitler esas alındığında ise alüminyumun sağladığı düşük yoğunluk avantajının sürdürülebilmesi için takviye malzemesinin yoğunluğu da düşük olmalıdır.

Ergime Noktası: Takviye malzemesinin metal matrisli kompozitlerin yüksek sıcaklık dayanımını arttırması beklenmektedir. Bu iyileştirmenin ne derecede gerçekleşeceği ise takviye

malzemesinin ergime noktasına bağlıdır. Bu nedenle AHP yapısında bir seçim kriteri olarak seçilmiştir.

**Kırılma Tokluğu:** Metal matrisli kompozitlerin rijitliğini arttırarak sertlik, aşınma dayanımı ve darbe direnci özelliklerini geliştiren takviye malzemesi diğer taraftan matris yapının tokluğunu azaltmaktadır. Bu nedenle seçim kriteri olarak dikkate alınmalıdır. Tokluğun seviyesine göre kompozit yapı gevrek davranış da sergileyebilir. Bu nedenle takviye malzemesinin kırılma tokluğu çok düşük olmamalıdır.

**Fiyat:** Ortak bir malzeme seçim kriteri olan fiyat metal matrisli kompozitlerde matris ve takviye malzemesinin seçimi için oldukça önemlidir ve bu nedenle AHP yapısında bir seçim kriteri, olarak seçilmiştir. Takviye boyutu ne kadar küçük ise fiyat da o oranda artmaktadır.

**Tablo 3.** Kriter ve alternatif değerleri

Kriterler	Alternatifler			
	TiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Fiyat (Euro)	150	160	104	76
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	4,91	2,52	3,21	3,96
Kırılma Tokluğu (Mpa.m <sup>0.5</sup> )	2,80	2,50	3,10	3,30
Ergime Noktası (°C)	3067	2400	2545	2040
Rijitlik (GPa)	450	470	410	350

### 3.3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Kriter ve alternatif değerleri belirlendikten sonra kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken kriterler arasında önem değerleri dikkate alınmıştır. Kriterler arası önem değerleri belirlendikten sonra matris aşamasına geçilmiştir. Sonrasında fiyat, rijitlik, yoğunluk, kırılma tokluğu ve ergime noktası kriterlerine göre alternatifler arası karşılaştırma matrisleri yapılmıştır. Matrisler oluşturulurken matris değeri tamsayı ise satırdaki elemanın üstün olduğunu, eğer matris değeri kesirli sayı ise satırdaki matris elemanın üstünlüğünün zayıf olduğunu göstermektedir. Örneğin, tabloda yoğunluk kriteri fiyat kriterine göre “7” önem derecesine sahiptir. Fiyat kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma matrisinde ise B<sub>4</sub>C, TiC malzemesine göre “2” derece daha öneme sahiptir. Matrisler oluşturulurken uzman görüşlerine başvurulmuş ve yapılan değerlendirmeler sonucunda matrisler hakkındaki yorumlar ve hesaplamalar, formülasyonlar ile yapılmıştır. Bu sayede ikili ilişkiler hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi

	Fiyat	Yoğunluk	Kırılma Tokluğu	Ergime Noktası	Rijitlik
Fiyat	1	1/7	1/5	2	1/3
Yoğunluk	7	1	3	9	4
Kırılma Tokluğu	5	1/3	1	5	2
Ergime Noktası	1/2	1/9	1/5	1	1/3
Rijitlik	3	1/4	1/2	3	1

Uzman fikirleri alınarak oluşturulan kriterler arası karşılaştırma matrisinde %2 tutarlılık oranı elde edilmiştir. %51 oran ile rijitlik kriteri en büyük önem ağırlığına sahip olduğu görülmüştür.

**Tablo 5.** Fiyat kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	TiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TiC	1	2	1/5	1/7
B <sub>4</sub> C	1/2	1	1/6	1/8
SiC	5	6	1	1/3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7	8	3	1

Fiyat kriterine göre yapılan alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinde %4 tutarlılık oranı elde edilerek en önemli alternatif %58 oranında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu saptanmıştır. Fiyat kriteri, maliyet kriteri olduğu için Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, fiyatı en düşük olan alternatif olarak en iyi alternatiftir.

**Tablo 6.** Rijitlik kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	TiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TiC	1	1/2	3	5
B <sub>4</sub> C	2	1	4	6
SiC	1/3	1/4	1	3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/5	1/6	1/3	1

Rijitlik kriterine göre yapılan alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinde ortaya çıkan en iyi alternatif B<sub>4</sub>C olmuştur.

**Tablo 7.** Yoğunluk kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	TiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TiC	1	1/6	1/5	1/3
B <sub>4</sub> C	6	1	3	3
SiC	5	1/3	1	2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	1/3	1/2	1

Yoğunluk kriterine göre yapılan alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinde %52 ile en iyi alternatif B<sub>4</sub>C olmuştur.

**Tablo 8.** Kırılma tokluğu kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	TiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TiC	1	1/3	1/2	1/4
B <sub>4</sub> C	3	1	3	2
SiC	2	1/3	1	1/4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	1/2	4	1

Kırılma tokluğu kriterine göre yapılan alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinde %42 ile en iyi alternatif B<sub>4</sub>C olmuştur.

**Tablo 9.** Ergime noktası kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	TiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TiC	1	5	4	7
B <sub>4</sub> C	1/5	1	1/2	3
SiC	1/4	2	1	4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/7	1/3	1/4	1

Ergime noktası kriterine göre yapılan alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinde Tablo 9’da %60 ile en iyi alternatif TiC olmuştur. Ergime noktası kriteri göz önünde bulundurulduğunda titanyum karbür (TiC), fiyat kriterinde alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), yoğunluk, kırılma tokluğu ve rijitlik kriterlerinde ise bor karbür ( $B_4C$ ) takviye malzemesi en uygun alternatifler olarak belirlenmiştir. Oluşturulan bu matrisler yardımıyla kriter ve alternatifler arasında objektif bir değerlendirme yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise matris normalizasyonları aşamasına geçilmiştir.

### 3.4. Normalizasyon İşlemi ve Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

Matrisler oluşturulduktan sonra Denklem 1 kullanılarak, her matris ayrı ayrı normalize edilerek önem ağırlıkları (w) hesaplanmıştır. Önem ağırlıkları belirlenirken normalize matristeki her satırın ortalaması alınmıştır. Ana kriterlerin önem ağırlıkları Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 10.** Önem ağırlıkları

Ana kriterler	Önem ağırlıkları (w)
Fiyat	0,06
Rijitlik	0,51
Yoğunluk	0,24
Kırılma Tokluğu	0,05
Ergime Noktası	0,14

### 3.5. Tutarlılık Oranı Hesaplanması

Tutarlılık oranı, matrislerde belirtilen kriter ve alternatif matrislerinin kullanılabilirliğini gösteren rakamsal değer olarak ifade edilmektedir. Her matris için tutarlılık oranı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Oluşturulan matrisler kriterler arası matris, fiyat kriterine göre matris, rijitlik kriterine göre matris, yoğunluk kriterine göre matris, kırılma tokluğu kriterine göre matris, ergime noktası kriterine göre matris şeklindedir.

Tutarlılık oranının hesaplanması aşamasında Super Decisions karar destek yazılımından yararlanılmıştır. Saaty ölçeğine göre yapılan işlemler sonucunda matris için tutarlılık oranının %10’dan fazla olmaması beklenmektedir. Aksi takdirde karşılaştırma matrislerinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Denklem 3 ile  $\lambda$  değeri, Denklem 4 ve Denklem 5 ile beraber rassal değerler kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Rassal değerler belirlenirken literatürde kullanılan rassal değer skalası baz alınmıştır. Kriter sayıları esas alınarak rassal değer seçilmiştir. Tüm matrisler için tutarlılık oranı Tablo 11’de gösterilmiştir. Tüm matrisler için alternatif yüzdeleri ise Tablo 12’de gösterilmiştir.

**Tablo 11.** Tutarlılık oranı

Matrisler	Tutarlılık oranı
Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi	%2
Fiyat kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi	%4
Rijitlik kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi	%2
Yoğunluk kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi	%3
Kırılma tokluğu kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi	%6
Ergime noktası kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi	%3

Tabloda gösterildiği üzere oluşturulan karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları %10’dan daha düşük bir değerdedir. Bu sonuçlar matrislerin tutarlı olduğunu göstermiştir. Fiyat kriterine göre en iyi alternatif  $Al_2O_3$ , rijitlik kriterine göre  $B_4C$ , kırılma tokluğu kriterine göre  $B_4C$ , yoğunluk kriterine göre  $B_4C$ , ergime noktası kriterine göre  $TiC$  olduğu saptanmıştır.

**Tablo 12.** Kriterlere göre alternatif yüzdeleri

	En İyi Alternatif	Yüzde	En Düşük Alternatif	Yüzde
Fiyat	$Al_2O_3$	%58	$Al_2O_3$	%4
Rijitlik	$B_4C$	%49	$Al_2O_3$	%6
Yoğunluk	$B_4C$	%52	$TiC$	%6
Kırılma Tokluğu	$B_4C$	%42	$TiC$	%9
Ergime Noktası	$TiC$	%60	$Al_2O_3$	%5

Alüminyum metal matris kompozitler için en uygun takviye malzemesinin mevcut malzemeler arasında bor karbür  $B_4C$  olduğu belirlenmiştir. Tablo 12 incelendiğinde fiyat kriterine göre %58 oranı ile en iyi alternatif  $Al_2O_3$ , rijitlik kriterine göre %49 oranı ile en iyi alternatif  $B_4C$ , yoğunluk kriterine

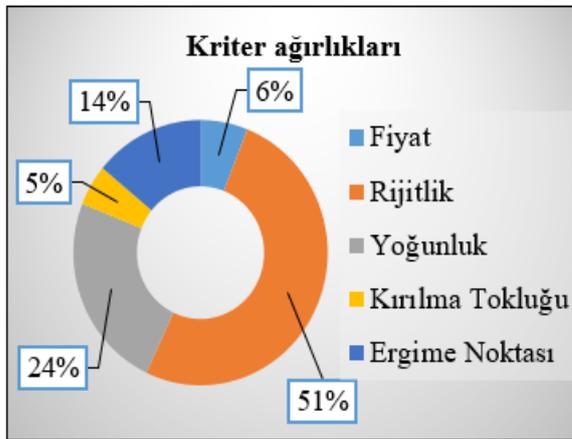
göre %52 oranı ile en iyi alternatif B<sub>4</sub>C, kırılma tokluğu kriterine göre %42 oranı ile en iyi alternatif B<sub>4</sub>C, ergime noktası kriterine göre %60 oranı ile en iyi alternatif TiC bulunmuştur.

En düşük alternatifler ise, fiyat kriterine göre %4 oranı ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, rijitlik kriterine göre %6 oranı ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yoğunluk kriterine göre %6 oranı ile TiC, kırılma tokluğu kriterine göre %9 oranı ile TiC, ergime noktası kriterine göre %5 oranı ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olmuştur.

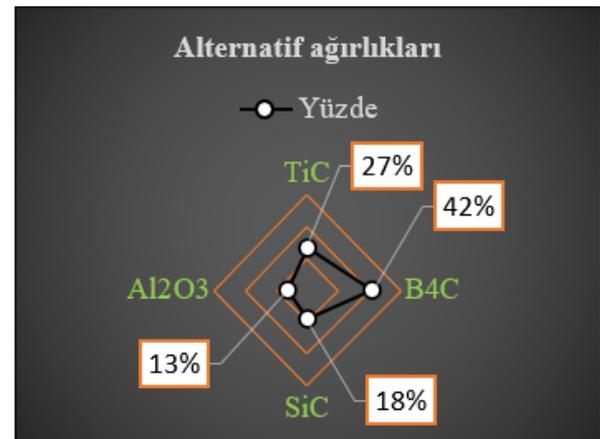
**Tablo 13.** Kriter ve alternatif sıralamaları

Kriterler	Sıralama	Alternatifler	Sıralama
Rijitlik	1	B <sub>4</sub> C	1
Yoğunluk	2	TiC	2
Ergime noktası	3	SiC	3
Fiyat	4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4
Kırılma tokluğu	5		

Bor karbür (B<sub>4</sub>C) %42, titanyum karbür (TiC) %27, silisyum karbür (SiC) %18, alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ise %13 yüzdesine sahiptir.



**Şekil 5.** Kriter ağırlıkları



**Şekil 6.** Alternatif ağırlıkları

#### 4. Sonuçlar

Metal matris kompozitler ileri mühendislik malzemeleri içinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Yüksek aşınma direnci ve sertlik, yüksek sıcaklıklara dayanım gibi özellikleri sayesinde otomotiv, havacılık, savunma sanayi gibi sektörlerde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Metal matris kompozitler yüksek mukavemet, sertlik, düşük kırılma tokluğu gibi özellikleri ile matris oluşumunda



yapısal dayanım ortaya koyduğu gibi, metal matrisli kompozit malzemelerin önemli bileşenlerinden olan takviye malzemeleri ise kompozitlerin rijitliğini ve yapısal direncini artırma noktasında kritik bir fayda sağlamaktadır. Bu sebeple takviye malzemelerinin doğru bir şekilde seçimi üretilen metal matrisli kompozitin fiziksel, mekanik, tribolojik özellikleri ve kullanım amacı açısından mutlak bir yere sahiptir. Bu amaçla, mevcut araştırma çalışmasında kompozit seçimi ile ilgili yapılan çalışmalara bir yenilik getirilerek çok kriterli karar verme yöntemleri entegre edilerek takviye malzeme seçimi çalışması yapılmıştır. Alüminyum metal matrisli kompozitler için en uygun takviye malzemesi seçimi için AHP yöntemi uygulanmış olup Super Decisions karar destek yazılımından yararlanılmıştır. Rijitlik, kırılma tokluğu, fiyat, yoğunluk ve ergime noktası karar kriterleri olarak tercih edilmiş olup TiC, B<sub>4</sub>C, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karar alternatifleri olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karar matrisi ile birlikte kriterler ve alternatifler uzman görüşleri doğrultusunda önem sıralaması belirlenerek ikili karşılaştırma matrisleri aynı şekilde uzman değerlendirmelerine tabi tutulmuştur. Hiyerarşik yapı Super Decisions uygulamasına aktararak, uygulama sonucunda kriter ve alternatif ağırlıkları, sıralamaları, yüzdelik oranları hesaplanmıştır. AHP yöntemi ile ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak %2 ile %6 arasında değişen tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Bunun sonucunda rijitlik %51, yoğunluk %24, ergime noktası %14, fiyat %6, kırılma tokluğu %5 şeklinde önem ağırlıklarına sahip olduğu görülmüştür. Rijitlik %51 ile en etkin kriter, kırılma tokluğu ise %5 ile en az etkin kriter olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla kriter sıralaması “rijitlik>yoğunluk>ergime noktası>fiyat>kırılma tokluğu” olarak incelenmiştir. TiC, B<sub>4</sub>C, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alternatiflerinin araştırma sonucunda sırasıyla %42 B<sub>4</sub>C, %27 TiC, %18 SiC, %13 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ağırlıklarına sahip olduğu görülmüştür. Bu noktada alternatif sıralamaları ise B<sub>4</sub>C>TiC>SiC>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak ortaya konmuştur. Bu sonuçlar ile birlikte her kriter için en yüksek alternatif oranları hesaplanmıştır. Fiyat kriteri için %58 ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, rijitlik kriteri için %49 ile B<sub>4</sub>C, yoğunluk kriteri için %52 ile B<sub>4</sub>C, kırılma tokluğu kriteri için %42, ergime noktası kriteri için %60 TiC en iyi alternatif olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma ile kompozit malzeme seçiminden farklı olarak, alüminyum metal matrisli kompozit malzemeler için en uygun takviye malzemesi seçimi yapılarak malzeme bilimi çalışmalarına yenilik kazandırılması amaçlanmıştır. Mevcut çalışmanın bulanık karar verme yöntemleri ile genişletilmesi, klasik sayılar kullanmak yerine bulanık sayı türlerinin çalışmaya entegre edilmesi, birden çok bulanık karar verme yönteminin bütünleşik kullanılması araştırmanın geliştirilmesi anlamında araştırmacılara katkı sağlayacaktır.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma, TÜbitak 2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Trabzon Silah Sanayi A.Ş (TİSAŞ) tarafından sağlanan destekle tamamlanmıştır. TÜbitak ve Trabzon Silah Sanayi'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Avikala S., Singh A.K., Badhotiya G.K., and Kumar K.C.N. (2021). A fuzzy-ahp and topsis based approach for selection of metal matrix composite used in design and structural applications. *Materials Today: Proceedings*, 46(20), 1050-11053.
- Chakravarthy M.P., and Rao D.S. (2022). Evaluation of mechanical properties of aluminium alloy (AA 6082) reinforced with rice husk ash (RHA) and boron carbide (B<sub>4</sub>C) hybrid metal matrix composites using stir casting method. *Materials Today: Proceedings*, 66(2), 580-586.
- Emiru A.A., Sinha D.K., Kumar A., and Yadav A. (2022). Fabrication and characterization of hybrid aluminium (Al6061) metal matrix composite reinforced with SiC, B<sub>4</sub>C and MoS<sub>2</sub> via stir casting. *International Journal Of Metalcasting*, 1-12.
- Güler O., Varol T., Alver Ü., Kaya G., and Yıldız F. (2021). Microstructure and wear characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced silver coated copper matrix composites by electroless plating and hot pressing methods. *Materials Today Communications*, 27, 102205.
- Kaplan Y., and Saray U. (2014). Examination of Turkey's renewable energy and fossil energy consumption with analytic hierarchy process (AHP). *Journal of New Results in Science*, 3(5), 28-36.
- Kumar A., Hussain S.A.I, and Rai R.N. (2019). Optimization by ahp-aras of edm process parameters on machining AA7050-10%B<sub>4</sub>C composite. *Advances in Industrial and Production Engineering*, 285–296.
- Kumar M., and Kumar A. (2020). Application of preference selection index method in performance based ranking of ceramic particulate (SiO<sub>2</sub>/SiC) reinforced AA2024 composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 27(3), 2667-2672.
- Kumar N.M.S. (2022). Effect on wear property of aluminium metal matrix composite reinforced with different solid lubricants: a review. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(2), 1-9.
- Luo K., Xiong H., Zhang Y., Gu H., Li Z., Kong C., and Yu H. (2022). AA1050 metal matrix composites reinforced by high-entropy alloy particles via stir casting and subsequent rolling. *Journal of Alloys and Compounds*, 893, 162370.
- Onaran, K., (1993). Malzeme bilimi problemleri ve çözümleri. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.

- Özdağoğlu A. (2013). Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: Copras örneği, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8(2), 229-252.
- Paul R.C., Joseph R., Kumar V.N., Devi P.B., and Manigandan S. (2022). Experimental analysis of hybrid metal matrix composite reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and graphite, *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 648-652.
- Qiao G., Zhang B., Bai Q., Gao Y., Du W., and Zhang Y. (2022). Machinability of TiC-reinforced titanium matrix composites fabricated by additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 76, 412-418.
- Saaty, T.L. (2013). *Mathematical principles of decision making: the complete theory of the analytic hierarchy process*. USA: RWS Publications.
- Sharma R., Pradhan M.K., and Jain P. (2022). Optimal selection of an AA8011 reinforced nano Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite using multi criteria decision-making method. *Materials Today: Proceedings*, 56(3), 1399-1405.
- Siddharthan B., Kumaravel A., and Praveen J. (2022). Mechanical and electrical characterization of aluminium alloy metal matrix composites reinforced with graphite. *Materials Today: Proceedings*, 66(3), 1413-1418.
- Surya M.S., and Gugulothu S.K. (2021). Fabrication, mechanical and wear characterization of silicon carbide reinforced aluminium 7075 metal matrix composite. *Silicon*, 14, 2023–2032.
- Taşkın V., Kılıç C., Yakut R., and Taşkın N.Ü. (2022). The effects of different reinforcement ratios on wear behaviors in EN-AW 5754 (AlMg3)/SiCp composite materials produced with the squeeze casting method. *BSEU Journal of Science*, 9(1), 42-51.
- Varol T., and Çanakcı A. (2013). Effect of particle size and ratio of B<sub>4</sub>C reinforcement on properties and morphology of nanocrystalline Al2024-B<sub>4</sub>C composite powders. *Powder Technology*, 246, 462-472.
- Varol T., Çanakcı A., and Özşahin Ş. (2018). Prediction of effect of reinforcement content, flake size and flake time on the density and hardness of flake AA2024-SiC nanocomposites using neural networks. *Journal of Alloys and Compounds*, 739, 1005-1014.
- Varol, T. (2012). *AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Varol, T. (2016). *Nano partikül takviyeli bakır esaslı fonksiyonel derecelendirilmiş elektrik kontak malzemelerinin üretimi ve karakterizasyonu*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

## Saçtırma Yöntemi ile Üretilen Işığa Duyarlı Germanyum Katkılı Tungsten Oksit Filmin Elektriksel Karakterizasyonu

Mustafa Şükrü KURT<sup>1\*</sup>

### Öz

Magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak Al kontaklı p-tipi Si altlık üzerine %3.1 Ge katkılı WO<sub>x</sub> katmanı büyütülerek p-n tipi Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge) eklemi elde edilmiştir. SEM ve EDS analizi sonuçları yüzeyin pürüzsüz ve homojen bir yapıya sahip olduğunu ve sırasıyla %93.7 W, 3.1% Ge ve 3.3% O oranlarından oluştuğunu göstermektedir. Elektriksel özelliklerin incelenmesi için üretilen aktif tabaka üzerine Ag nokta kontaklar atılarak sonuçta Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag yapısı elde edilmiştir. Üretilen heteroeklemin karanlık ve değişik ışık şiddetleri altında  $\pm 4V$  potansiyel aralığında *I-V* ölçümleri yapılarak diyot parametreleri (seri direnç, engel yüksekliği, diyot idealite faktörü, ters doyum akımı) incelenmiştir. Diyot idealite faktörünün ve seri direncin sırasıyla 3.7-5.68 ve 0-20 $\Omega$  arasında, engel yüksekliğinin ise 0.12-0.18 eV arasında değerler aldığı ve ters doyma akımının ışık şiddetine bağlı değişim gösterdiği saptanmıştır. Heteroeklemin tipik fotodiyot davranışı gösterdiği ve 60mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti altında maksimum doldurma faktörü değerinin 0.2660 olduğu belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Tungsten Oksit-Germanyum, Metal-oksit yarıiletken, Fotodiyot, p-n tip eklem, I-V

## Electrical Characterization of Photosensitive Germanium Doped Tungsten Oxide Film Produced by Sputtering Method

### Abstract

A p-n type Al/Si/WO<sub>x</sub>(3.1% Ge) junction was obtained by growing 3.1% Ge doped WO<sub>x</sub> layer on an Al contacted p-type Si substrate using magnetron sputtering method. The results of SEM and EDS analysis show that the surface has a smooth and homogeneous structure and consists of 93.7% W, 3.1% Ge and 3.3% O, respectively. In order to examine the electrical properties, Ag dot contacts were deposited on the produced active layer and Al/Si/WO<sub>x</sub>(3.1%Ge)/Ag structure was obtained. Diode parameters (series resistance, barrier height, diode ideality factor, reverse saturation current) were investigated by making *I-V* measurements in the  $\pm 4V$  potential range under dark and different light intensities of the produced heterojunction. It was observed that the diode ideality factor and series resistance have values between 3.7-5.68 and 0-20 $\Omega$ , respectively, and the barrier height have values between 0.12-0.18 eV, and the reverse saturation current changed depending on the light intensity. The heterojunction demonstrated standart photodiode behaviour, with a maximum fill factor value of 0.2660 under 60mW/cm<sup>2</sup> light intensity.

**Keywords:** Tungsten Oxide-Germanium, Metal-oxide semiconductor, Photodiode, p-n type junction, I-V

<sup>1</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye, e-mail: mustafa.kurt@erzurum.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2639-1850>

## 1. Giriş

Yarı iletken oksitler, malzeme bilimi, endüstri ve teknolojiye çok sıra dışı malzemelerdir. Yarı iletken oksit nanoyapıları, sahip oldukları nanoelektronik ve optoelektronikteki potansiyelleri nedeniyle oldukça dikkat çekmektedirler (Koltypin ve ark., 2002; Qiu ve ark., 2002; Terohid ve ark., 2018; Arunadevi ve ark., 2019; Tan ve ark., 2021; Kurt ve ark., 2022). Yarı iletken oksitler arasında,  $WO_x$ 'in çeşitli oksidasyon durumlarına sahip tungsten oksit, hızlı optik tepki süresi nedeniyle diğer elektrokronik malzemelerle karşılaştırıldığında en etkileyici adaylardan biri olarak kabul edilmektedir. Uygulamaların çeşitliliğinden ve üzerinde yapılan çalışmaların sayısından bant aralığı, kristal yapısı, kimyasal kararlılığı, optik ve elektriksel özellikleri gibi üstün özellikli kombinasyonlara sahip çekici bir malzeme olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bugüne kadar yapılan bazı çalışmalar oksitli tungsten filmlerin mekanik, elektrik, elektronik ve optik özelliklerinin optimizasyonunun nanoyapılandırma, katkılama, farklı metaller veya oksitler ile karıştırılması ve hatta kristal fazlar yerine amorf bir faz kullanılmasıyla yapılabildiğini göstermektedir (Deb, 2002; Hassel ve ark., 2010; Zheng ve ark., 2011; Khare ve ark., 2013; Sliozberg ve ark., 2015; Amarsing ve ark., 2017). Diğer taraftan germanyum (Ge)'nin iyi bir yarı iletken malzeme olduğu ve optoelektronik uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı bilinen bir gerçektir. Literatürde Ge bazlı malzemelerin optoelektronik özelliklerini değerlendiren farklı çalışmalar bulunmaktadır (Michel ve ark., 2010; Jiang ve ark., 2021; Aslan ve ark., 2022). Bununla birlikte literatürde W-Ge oksitli nanokompozit ince filmlerin morfo-yapısal ve optoelektronik davranışları üzerinde sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu nedenle mevcut çalışmada ışığa duyarlı cihaz endüstrilerinde olası bir uygulama bulabilecek W-Ge oksitli filmlerinin optoelektronik özelliklerinin değerlendirmesi amaçlandı.

İnce filmlerin hazırlanması için spin kaplama, kimyasal buhar biriktirme (CVD), daldırma yöntemi ile kaplama, anotlama, saçtırma, lazerle ablasyon, atomik katman biriktirme ve termal buharlaştırma dahil olmak üzere çeşitli biriktirme teknikleri kullanılmaktadır (Hoel ve ark., 2004; Nimitrakoolchai ve Supothina, 2008; Zheng ve ark., 2011; Dastan, 2017; Bourdin ve ark., 2019; Jafari ve ark., 2019; Aslan ve ark., 2022). Bu yöntemler içerisinde magnetron saçtırma yöntemi, yoğun madde fiziğinden katı hal kimyasına kadar, kontrollü bir şekilde aynı anda birden fazla malzemenin istenilen altlık üzerine büyütülmesi veya ortama gaz gönderilerek reaktif kaplama yapmaya olanak sağlaması nedeniyle bilimsel çalışmalarda çoğunlukla tercih edilmektedir. Aynı zamanda sistemin yüksek vakum ortamında üretime olanak sağlaması diğer tekniklere kıyasla daha temiz kaplama yapılabilmesi, ayrıca kaplama kalınlığının ve karışım oranlarının kontrol edilebilmesi, homojen ve pürüzsüz kaplamaya olanak sağlaması gibi önemli avantajları da bulunmaktadır.

Bu çalışmada, yüksek vakum koşulları altında magnetron saçırma sistemi kullanarak aynı anda kaplama tekniği ile W-Ge oksitli nanokompozit ince filmi Al/p-tipi Si üzerine büyütülmüştür. Üretilen Al/p-tipi Si/WO<sub>x</sub>(%3.1 Ge) nanokompozit filmin yüzey morfolojisi ve elementel dağılımı Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı x-ışını spektrumları (EDS) kullanılarak tespit edildi. Sonrasında üretilen film üzerine elektriksel özelliklerin incelemesi için magnetron saçırma yöntemi ile Ag kontaklar atılarak Al/p-Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroeklemi elde edilmiş ve elektriksel karakterizasyonu  $\pm 4V$  potansiyeli arasında karanlıkta ve farklı ışık şiddetine maruz bırakılarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Manyetik saçırma yöntemi fiziksel buhar biriktirme (FBB) yöntemleri arasında temiz, düzenli, homojen yapıya sahip filmler büyütmeye olanak sağladığı ve büyütme sırasında malzemelerin karışım oranlarının ayarlanması ve reaktif büyütme imkanı sunması gibi avantajlarından dolayı ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmada Tungsten (W) ve Germanyum (Ge) metalleri Alüminyum (Al) ohmic kontaklı p-tipi Si altlık üzerine Nanovak marka ve NVTS-400 model manyetik saçırma yöntemi kullanarak aynı anda büyütme tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Kaplanacak olan Si altlık ilk olarak aseton, metil alkol ve distile su ile ultrasonikasyon cihazında 5 er dakika bekletilerek temizlendikten sonra nitrojen gazı ile kurutularak temizleme işlemi sonlandırılmıştır. Temizlenen altlıklar sisteme yerleştirilerek sistemin basıncının  $\sim 10^{-6}$  Torr seviyelerine ulaşması beklenmiştir. Kullanılan FBB sistemi iki RF ve bir DC olmak üzere üç adet saçırma başlığına sahip olup aynı anda birden fazla malzemeyi büyütme imkanı sunmaktadır. Büyütme sırasında 2 inç çapa ve %99.99 saflığa sahip W ve Ge metal saçırma hedefleri kullanılmıştır. Bu hedeflerin her biri büyütme öncesinde yüzeydeki kirliliğin temizlenmesi ve daha aktif bir yüzey oluşturmak için 10 dakika boyunca yüksek Ar (30 mTorr) gazı ortamında yüzey temizleme işlemine maruz bırakılmıştır. Büyütme öncesinde kristal kalınlık ölçme monitörü kullanılarak 5 mTorr Argon (Ar) gazı ortamında her iki malzemenin birikme oranları ayarlanmıştır. W ve Ge hedeflere sırasıyla DC (306V, 310mA) ve RF (36W) güçleri uygulanarak  $1.8 \text{ \AA}^{-1}$  ve  $0.6 \text{ \AA}^{-1}$  kaplama oranlarında Al kontaklı p-tipi Si altlık üzerine malzemeler büyütülmüştür. Başlangıçta  $\sim 10^{-6}$  Torr seviyelerinde olan sistem basıncı üretim sırasında  $2.79 \times 10^{-3}$  Torr seviyelerine kadar çıkmıştır. Nanokompozit alaşım malzemenin Si altlık üzerine büyütülme işlemi tamamlandıktan sonra 150 nm kalınlığında ve 1 mm çapındaki doğrultucu Ag kontaklar atılmış ve Al/Si/WO<sub>x</sub>(3.1%Ge)/Ag yapısı elde edilmiştir.

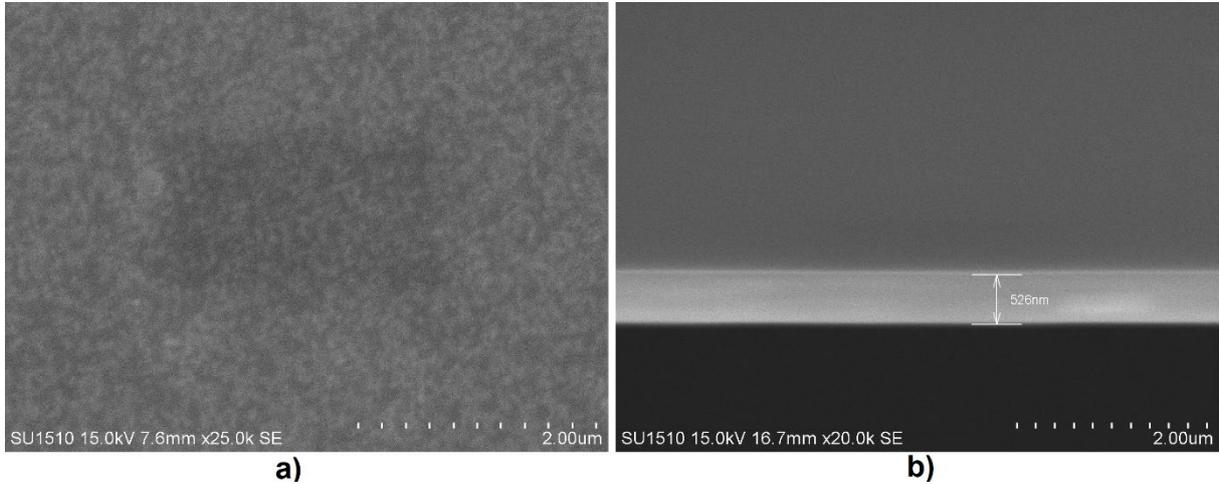
Hitachi SU 1510 marka ve model taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile elde edilen nanokompozit malzemelerin yüzey özellikleri ve kesit alanı incelenirken, SEM'e entegre Enerji

dağılımlı X-ray spektroskopisi (SEM-EDS) kullanılarak ise elementel analizi yapılmıştır. Üretilen nanokompozit malzemelerin elektriksel ölçümleri karanlık ve farklı ışık şiddetleri altında (20, 40, 60, 80, 100 mW cm<sup>-2</sup>) Solar Simulator LSS 900 karakterizasyon sistemi kullanılarak yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Yüzey Özellikleri ve Elementel Bileşimi

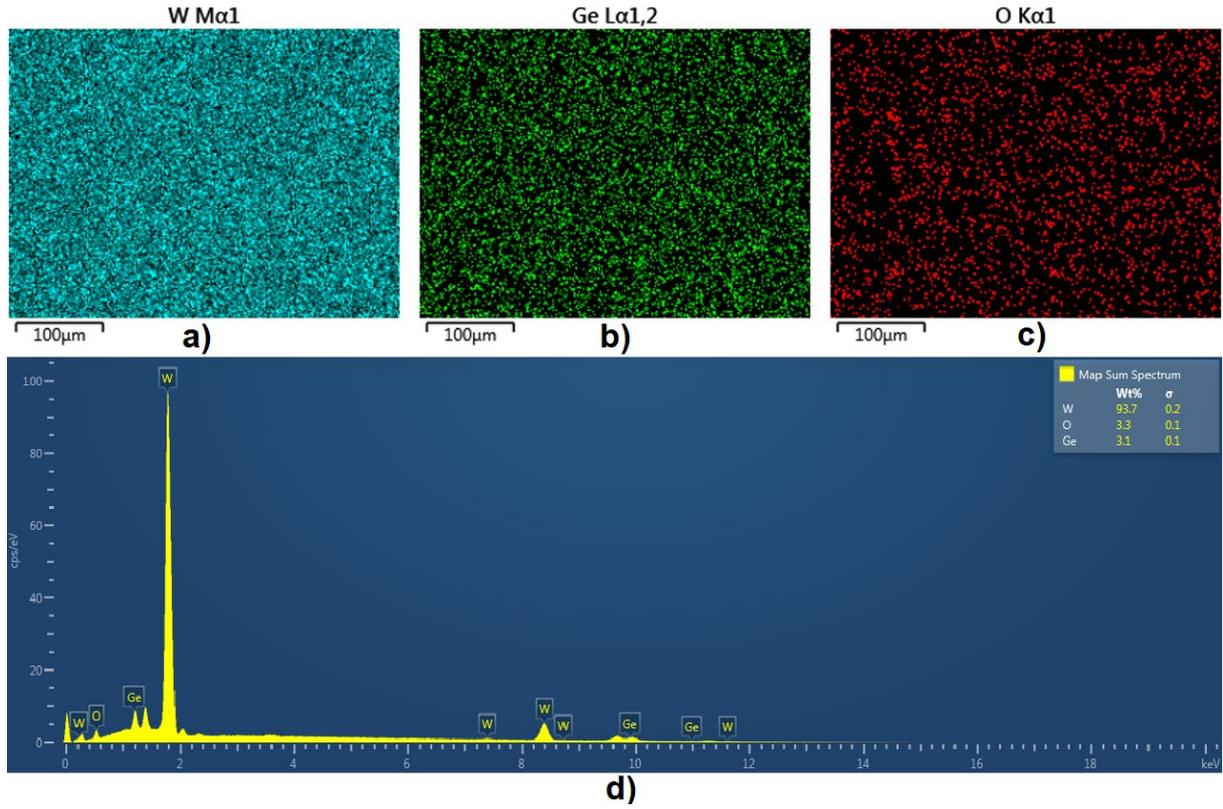
Şekil 1a ve 1b'deki SEM görüntüleri sırasıyla Magnetron saçırma tekniği kullanılarak W içerisine düşük oranda Ge katkılanarak elde edilen oksitli nanokompozit ince filmin yüzey ve kesit alanını göstermektedir. Üretilen nanokompozit malzemenin 25000 büyütmede yüzeyi incelendiğinde genel itibariyle oldukça homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca yüzeyde çatlaklar, kırıklar ve gözenekler gibi herhangi bir yapısal kusurun olmadığıda görülmektedir. Şekil 1b'de Al ohmik kontak atılmış p-tipi Si altlık kullanılarak büyütülen nanokompozit ince film katmanının kalınlığının 526 nm olduğu görülmektedir.



**Şekil 1.** a) Ge katkılı ve oksitli W nanokompozit ince filmin yüzeyinin 25000 büyütmede SEM görüntüsü b) İnce filmin yan kesit alanını gösteren SEM görüntüsü.

Üretilen nanokompozit ince filmin içeriğine dair elementel analiz SEM-EDS yüzey tarama işlemi gerçekleştirilerek yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen, Şekil 2d'de ki spektrum incelendiğinde, üretilen nanokompozit ince filmin tungsten, germanyum ve oksijenden oluştuğu oldukça açık bir şekilde görülebilmektedir. Ayrıca, şekil 2a, b ve c'de ki yüzeyin elementel harita görüntüleri nanokompozit filmi oluşturan W, Ge ve O bileşenlerinin yüzeye homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, şekil 2d'de ki EDS spektrumu sonucu incelendiğinde

görüldüğü üzere nanokompozit ince filmi oluşturan W, Ge ve O elementlerinin ağırlıkça yüzde oranları sırasıyla %93.7, 3.3% ve 3.1% olarak gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak aynı anda kaplama yöntemi kullanılarak üretilen 3.1% Ge katkılı nanokompozit ince filmin oldukça homojen bir fiziksel karakteristiğe sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca, EDS spektrumunda görülen oksijenin üretim sırasında ortamda bulunan çok düşük oranda oksijenin alaşıma dahil olması veya kaplama işlemi sonrasında vakum ortamından çıkarılan malzemenin doğal olarak oksitlenmesinin sonucu olduğu söylenebilir. Sonuçta Al/Si/WO<sub>x</sub>(3.1%Ge)/Ag katmanlarından oluşan bir heteroeklem üretilmiştir.



**Şekil 2.** a) W, b) Ge ve c) O'nin nanokompozit ince filmin SEM-EDS ile alınmış dağılımı. d) Üretilen nanokompozit ince filmin EDS spektrumu.

### 3.2. Elektriksel Özellikleri

Biz bu çalışmamızda Al/p-tipi Si üzerine %3.1 Ge katkılanmış WO<sub>x</sub> tabakası biriktirilmiş ve bu tabakanın üzerine Ag metali ile kontak alınmıştır. Nihayetinde Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1 Ge)/Ag heteroekleminin karanlık ve 20, 40, 60, 80 ve 100mw/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti altında ±2V potansiyel aralığında I-V karakteristikleri incelenmiştir. MS (metal-semiconductor), MIS (metal-insulator-semiconductor), MPS (metal polimer semiconductor) SBD (shottky barrier diode) diyotlarına ait akım-gerilim mekanizmaları ile ve farklı metotların uygulanmasıyla bu diyotların seri direnç, barrier



yüksekliği, diyot idealite factörü gibi parametreleri hesaplanabilir (Cetinkaya ve ark, 2013; Shetty ve ark., 2015; Unal ve ark., 2022).

Akım-gerilim ilişkisi denklem 1 de verilen termoiyonik emisyon teorisi ile geleneksel metodlar kullanılarak hesaplanır (Al-Ta'ii ve ark., 2016; Aldemir ve ark., 2017; Aktas ve Unal, 2022).

$$I = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{kT}\right) - 1\right] \quad (1)$$

Formülde seri direnç  $R_s$ , boltzman sabiti  $k$ , etkin bariyer yüksekliği  $\phi_b$ , elektronun yükü  $q$ , uygulanan potansiyel  $V$ , kelvin cinsinden sıcaklık  $T$ , aktif diyot alanı  $A$ , richardson sabiti  $A^*$  ( $n$  tipi Si için teorik richardson sabiti  $120 \text{ A.cm}^{-1}\text{K}^2$ ) ile verilmiştir.  $V-IR_s \gg 3kT$  olduğu durumda denklem 1

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (2)$$

şekline dönüşür ve

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad (3)$$

Denklem 2'nin her iki tarafının logaritması alınıp  $V$  ye göre türevi alınırsa

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln(I))} \quad (4)$$

$n$  diyot idealite faktörü elde edilir. Düşük ve orta voltaj bölgesinin  $\ln(I)-V$  grafiğinin liner bölge eğiminin diğer sabitler kullanılarak hesaplanmasıyla  $n$  idealite faktörü elde edilmiş olur.  $\ln(I)-V$  grafiğinde lineer bölgedeki  $\ln(I)$  kesişim noktası ise ters doyma akımı  $I_0$  verir.

Cheung and Cheung metodunda ise Cheung and Cheung fonksiyonları (Cheung, 1986) kullanılması ile seri direnç, engel yüksekliği ve diyot idealite faktörü elde edilir. Aşağıdaki 3 denklem Cheung and Cheung fonksiyonlarını vermektedir.

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = IR_s + \frac{nkT}{q} \quad (5)$$

$$H(I) = V - \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (6)$$

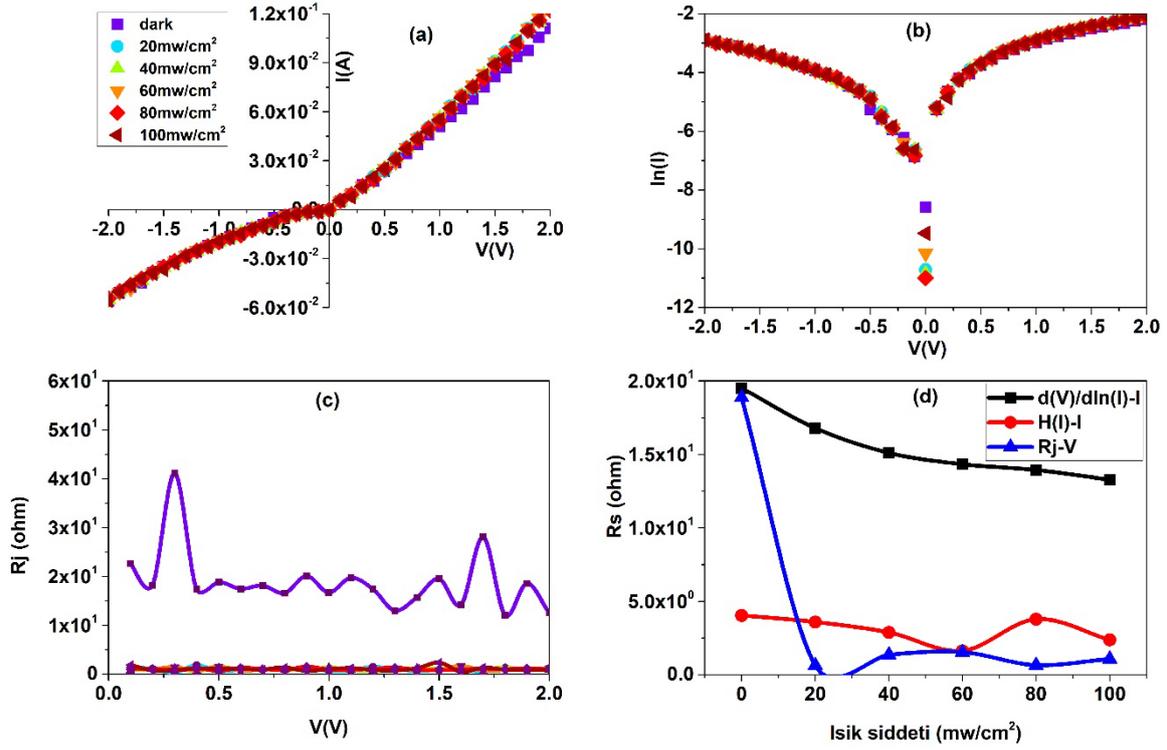
$$H(I) = IR_s + n\phi_b \quad (7)$$

Verilen 3 denklemde  $\ln(I)-V$  grafiğinin orta ve düşük voltaj bölgelerindeki değerler ile  $I$  ya bağlı  $\frac{dV}{d\ln(I)}$  ve  $H(I)$  grafikleri çizilebilir.  $\frac{dV}{d\ln(I)}$  nin  $I$  ya bağlı grafiğindeki eğim değeri  $R_s$  'i, ve y eksenini kesiştiği değer ve diğer sabit değerlerinin kullanımı ile de  $n$  idealite factörü bulunur.  $H(I)$  nin  $I$  ya bağlı grafiğinde eğrinin y eksenini kesiştiği noktadan  $n$  değerinden yararlanılarak  $\phi_b$  değeri bulunur.

$R_s$  değeri bu eğri eğiminden bulunur.  $R_j = \frac{\partial V}{\partial I}$  nin  $V$  ye bağlı grafiği de eklemelerin  $R_s$  seri direnç değerlerini verir (Aktas, 2022; Reddy ve ark., 2021; Unal, 2021).

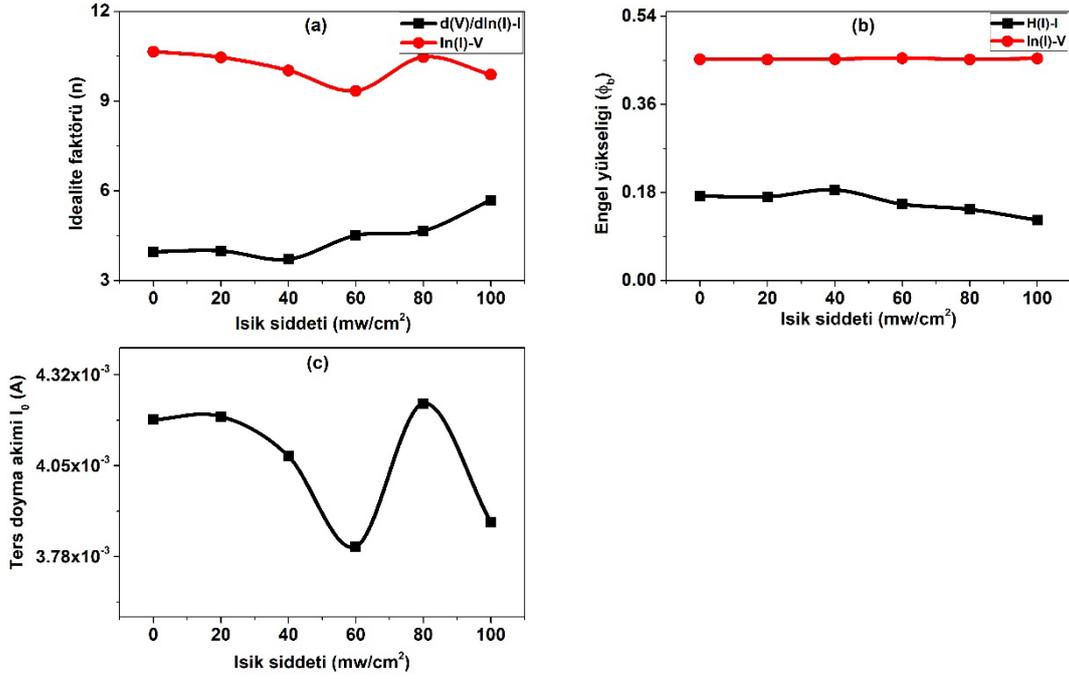
Şekil 3a da ürettiğimiz heteroeklemin  $I-V$  grafiği verilmiştir. Heteroeklemin doğrultma özelliği sergilediği heteroeklem üzerine düşen ışığın şiddetinin artmasıyla fotoiletkenliğin arttığı görülmektedir. Şekil 3b de Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin yarı logaritmik  $I-V$  grafiği verilmiştir. Düz beslem altında eğrilerin lineer bölgeleri 0.05-0.2V arasına düştüğü bu voltaj değerinden yukarıya doğru çıkıldıkça seri direnç etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Ters beslem altında doymamışlık durumu tabakalar arasında oluşan arayüzey durumlarından ve görüntü yük kuvvetlerinin bariyer yüksekliğini azaltmasından kaynaklanır (Kampen ve ark., 2002; Unal, 2022; Unal ve Aktas, 2022). Işık altında yasak enerji band aralığından daha yüksek enerjiye sahip fotonlar yeni elektron-hole çiftleri oluşmasına neden olur. Yapı dışarıdan bir elektrik alana maruz kaldığında gerilir ve elektron-hole çiftleri tanecik sınırlarındaki güçlü iç elektrik alan tarafından bir birinden ayrılmaya zorlanır. Elektronlar elektrik alan sayesinde hızlı bir şekilde süpürülür ve foto iletkenlik artar (Unal ve ark., 2021). 1V ile 2V arasında fotoiletkenlik daha belirgin hale gelmiştir. Şekil 3c de Ag/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin düz beslem altında  $R_j-V$  grafiği verilmiştir. Düşük potansiyelden yüksek potansiyele gidildikçe eklem direncinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca ışık şiddetinin artmasıyla taşıyıcı konsantrasyonuna bağlı olarak akımın artması eklem direncinin düşmesine sebep olmuştur.

Şekil 3d farklı metotlarla hesaplanan seri direnç  $R_s$  değerlerini farklı ışık şiddetlerine göre eğilimini göstermektedir.  $R_s$  değerleri  $H(I)-I$  ve  $R_j-V$ ,  $d(V)/d\ln(I)-I$  eğrilerinden hesaplanmıştır. Her üç metotla hesaplanan  $R_s$  değerleri ışık şiddetinin artmasıyla exponansiyel bir şekilde azalmıştır. Karanlık ortamda  $R_j-V$  eğrisinden hesaplanan  $R_s$  değeri 19.50 ( $\Omega$ )  $d(V)/d\ln(I)-I$  eğrisinden hesaplanan  $R_s$  değeri 4.04 ( $\Omega$ ),  $H(I)-I$  eğrisinden hesaplanan  $R_s$  değeri 18.86 ( $\Omega$ ) olarak belirlenmiştir. 100 mw/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti altında bu değerler sırasıyla 13.27 ( $\Omega$ ), 2.37 ( $\Omega$ ), 1.07 ( $\Omega$ )dur. Artan ışık şiddetiyle  $R_s$  değerlerinin azalmasının sebebi fotoiletkenliğin artmasıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Al/Si/WO<sub>x</sub> (%3.1Ge)/Ag heteroekleminin a) I-V grafiği, b) yarılogaritmik I-V grafiği, c) R<sub>j</sub>-V grafiği ve d) R<sub>s</sub> nin ışık şiddetine bağlı değişimi.

Şekil 4a ve b de ışık şiddetine bağlı diyot idealite faktörü ( $n$ ) ve engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) değerleri belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle hesaplanan  $n$  ve  $\Phi_b$  değerleri birbirleriyle örtüşen davranışlar sergilemişlerdir. Işık şiddetinin artmasıyla bariyer yüksekliğinin azalması diyot idealite faktörü değerlerinin yükselmesine sebep olmuştur.  $d(V)/d\ln(I)-I$  eğrileri kullanılarak hesaplanan  $n$ 'ler için 3.70 ile 5.68 arası değerlere sahipken,  $H(I)-I$  eğrisinden hesaplanan  $\Phi_b$  değerleri 0.12 ile 0.18 eV arası değerler almıştır.  $\ln(I)-V$  eğrilerinden elde edilen  $n$  ve  $\Phi_b$  değerleri sırasıyla 10.64 ile 9.34 ve 0.451-0.454 eV arasında değerler almışlardır. Farklı yöntemlerle hesaplanan  $n$  değerleri ideal diyot değeri 1 olan değerden oldukça uzaktır. Bunun sebebi, doğal oksit tabakasının oluşumuna, seri direnç ve Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge) arayüzü arasındaki arayüz durumlarındaki aşırı akıma bağlanabilir (Farag, 2009; Reddy ve ark., 2021). Ayrıca arayüzey tabakasında homojen olmayan yüklerin dağılımı  $n$  değerinin büyük çıkmasına neden olmaktadır (Tung, 1992). Ters doyma akımı ve ışık şiddeti arasındaki ilişki Şekil 4c de verilmiştir. Karanlık ortamda  $I_0$  değerinin  $4.19 \times 10^{-3}$  A olduğu görülürken bu değer  $80 \text{ mw/cm}^2$  ışık şiddeti altında  $4.23 \times 10^{-3}$  A e kadar yükselmiştir. Bu artışın sebebi ışığın photo-generated taşıyıcılarının arayüzeyde rekombinasyonu aktif hale getirmesidir (Aktas, 2022; Unal 2022).



Şekil 4. Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin ışık şiddetine bağlı a) diyot idealite faktörü grafiği, b) engel yüksekliği grafiği, c) ters doyma akımı grafiği.

Tablo 1 de Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin  $I_{mpp}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mpp}$ ,  $V_{oc}$  ve  $FF$  gibi foto voltaik parametrelerinin ışık şiddetine bağlı değişimi verilmiştir. Fill factor ( $FF$ ) denklem 8 kullanılarak hesaplanmıştır (Bartesaghi ve ark., 2015; Unal ve ark., 2021; Aktas, 2022).

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (8)$$

Burada  $I_{mpp}$  maksimum güç noktası akımı,  $V_{mpp}$  maksimum güç noktası voltajı,  $I_{sc}$  kısa devre akımı ve  $V_{oc}$  açık devre voltajıdır.

Tablo 1. Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin fotovoltaik parametreleri

	$I_{mpp}$ (A)	$I_{sc}$ (A)	$V_{mpp}$ (V)	$V_{oc}$ (V)	$FF$
20	$1.17 \times 10^{-5}$	$2.23 \times 10^{-5}$	0.000301	0.000633	0.249575
40	$1.02 \times 10^{-5}$	$1.94 \times 10^{-5}$	0.000278	0.000578	0.252751
60	$1.99 \times 10^{-5}$	$3.89 \times 10^{-5}$	0.000572	0.0011	0.266015
80	$8.04 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-5}$	0.000259	0.000498	0.248947
100	$3.74 \times 10^{-5}$	$7.71 \times 10^{-5}$	0.0011	0.0021	0.254254

20 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddetinde  $I_{sc}$  değeri  $2.23 \times 10^{-5}$  A iken 100 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddetinde bu değer  $7.71 \times 10^{-5}$  A e kadar yükselmiştir.  $I_{sc}$  ye benzer şekilde  $V_{oc}$  değeride ışık şiddetinin artmasıyla 0.000633 V tan 0.0021 V a yükselmiştir.  $FF$  değerinin maksimum olduğu değer 60 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddetinde görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Aynı anda kaplama metodu kullanılarak magnetron saçtırma yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilen Al/Si/WO<sub>x</sub>(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin yapısal, yüzeysel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. SEM analizi yüzeyin pürüzsüz bir yapıya sahip olduğunu ve malzemenin kalınlığının 520 nm civarı olduğunu göstermektedir. EDS analizi ve yüzey haritalandırması ise altlığın yüzeyine kaplanan malzemelerin homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Ürettiğimiz heteroeklemin doğrultucu karakteristik gösterdiği ve ışığa duyarlı olduğu görülmüştür. Farklı ışık şiddetleri altında farklı metotlarla incelenen elektriksel parametrelerin birbiriyle ve literatürle uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ürettiğimiz heteroeklemin fotovoltmik parametreleri incelenmiş ışık şiddetinin artmasıyla *I<sub>sc</sub>* ve *V<sub>oc</sub>* değerlerinin yükseldiği görülmüştür.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- Aktas, S. (2022). Electrical characterisation of photosensitive Si/W–Ge oxide composite heterojunction. *Optical Materials*, 132, 112839.
- Aktas, S., ve Ünal, F. (2022). Metal Oksit ve Organik Bazlı Çoklu Heteroeklemin Yapısal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 508-520.
- Al-Ta'ii, H. M. J., Periasamy, V., ve Amin, Y. M. (2016). Electronic Characterization of Au/DNA/ITO Metal-Semiconductor-Metal Diode and Its Application as a Radiation Sensor. *PloS One*, 11(1), e0145423.
- Aldemir, D. A., Kökce, A., ve Özdemir, A. F. (2017). Schottky diyot parametrelerini belirlemede kullanılan metotların geniş bir sıcaklık aralığı için kıyaslanması. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(6), 1286-1292
- Amarsingh Bhabu, K., Kalpana Devi, A., Theerthagiri, J., Madhavan, J., Balu, T., ve Rajasekaran, T. R. (2017). Tungsten doped titanium dioxide as a photoanode for dye sensitized solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(4), 3428-3439
- Arunadevi, R., Kavitha, B., Rajarajan, M., ve Suganthi, A. (2019). Sonochemical synthesis and high-efficient solar-light-driven photocatalytic activity of novel cobalt and manganese codoped tungsten oxide nanoparticles. *Chemical Physics Letters*. 715, 252-262.

- Aslan, N., Kurt, M. Ş., ve Mehmet Koç, M. (2022). Morpho-structural and optoelectronic properties of diamond like carbon–germanium (DLC-Ge) composite thin films produced by magnetron sputtering. *Optical Materials*, 126, 112229.
- Bartesaghi, D., Pérez, I. D. C., Kniepert, J., Roland, S., Turbiez, M., Neher, D., ve Koster, L. J. A. (2015). Competition between recombination and extraction of free charges determines the fill factor of organic solar cells. *Nature Communications*, 6(1), 7083.
- Bourdin, Gaudon, Weill, Duttine, Gayot, Messaddeq, ve Cardinal. (2019). Nanoparticles (NPs) of WO<sub>3</sub>-x Compounds by Polyol Route with Enhanced Photochromic Properties. *Nanomaterials*, 9(11), 1555.
- Çetinkaya, H. G., Tecimer, H., Uslu, H., ve Altındal, Ş. (2013). Photovoltaic characteristics of Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky barrier diodes (SBDs) at various temperatures. *Current Applied Physics*, 13(6), 1150-1156.
- Cheung, S. K., ve Cheung, N. W. (1986). Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physics Letters*. 49, 85.
- Dastan, D. (2017). Effect of preparation methods on the properties of titania nanoparticles: solvothermal versus sol-gel. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 123, 699.
- Deb, S. K. (2008). Opportunities and challenges in science and technology of WO<sub>3</sub> for electrochromic and related applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 9(2), 245-258
- Farag, A. A. M. (2009). Structure and transport mechanisms of Si/porous Si n-p junctions prepared by liquid phase epitaxy. *Applied Surface Science*, 255(6), 3493-3498.
- Hassel, A. W., Milenkovic, S., ve Smith, A. J. (2010). Large scale synthesis of single crystalline tungsten nanowires with extreme aspect ratios. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*. 207(4), 858-863.
- Hoel, A., Reyes, L. F., Heszler, P., Lantto, V., ve Granqvist, C. G. (2004). Nanomaterials for environmental applications: novel WO<sub>3</sub>-based gas sensors made by advanced gas deposition. *Current Applied Physics*, 4(5), 547-553.
- Jafari, A., Alam, M. H., Dastan, D., Ziakhodadadian, S., Shi, Z., Garmestani, H., Weidenbach, A. S., ve Țălu, Ş. (2019). Statistical, morphological, and corrosion behavior of PECVD derived cobalt oxide thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 30, 21185-21198
- Jiang, Z., Yu, Y., Wang, Y., Zhou, D., Deng, W., ve Zhang, X. (2021). High-power Si-Ge photodiode assisted by doping regulation. *Optics Express*, 29(5), 7389.
- Kampen, T. U., Park, S., ve Zahn, D. R. T. (2002). Barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer. *Applied Surface Science*, 190(1-4), 461-466.
- Khare, C., Sliozberg, K., Meyer, R., Savan, A., Schuhmann, W., ve Ludwig, A. (2013). Layered WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> nanostructures with enhanced photocurrent densities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(36), 15954-15964.
- Koltypin, Y., Nikitenko, S. I., ve Gedanken, A. (2002). The sonochemical preparation of tungsten oxide nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*. 12, 1107-1110.
- Kurt, M. S., Aktas, S., Unal, F., Kabaer, M. (2022). Optical and Electrical Characterization of a ZnO/Coronene-Based Hybrid Heterojunction Photodiode. *Journal of Electronic Materials*. 1-12
- Michel, J., Liu, J., ve Kimerling, L. C. (2010). High-performance Ge-on-Si photodetectors. *Nature Photonics*. 4(8), 527-534.
- Nimitrakoolchai, O. U., ve Supothina, S. (2008). High-yield precipitation synthesis of tungsten oxide platelet particle and its ethylene gas-sensing characteristic. *Materials Chemistry and Physics*. 112(1), 270-274.
- Qiu, H., Lu, Y. F., ve Mai, Z. H. (2002). Electrochromic writing and erasing on tungsten oxide films in air by scanning tunneling microscopy. *Journal of Applied Physics*. 91, 440.
- Reddy, V. R., Prasad, C. V., Janardhanam, V., ve Choi, C.-J. (2021). Electrical and carrier transport properties of Ti/ $\alpha$ -amylase/p-InP MPS junction with a  $\alpha$ -amylase polymer interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(6), 8092-8105.
- Shetty, A., Roul, B., Mukundan, S., Mohan, L., Chandan, G., Vinoy, K. J., ve Krupanidhi, S. B. (2015). Temperature dependent electrical characterisation of Pt/HfO<sub>2</sub>/n-GaN metal-insulator-semiconductor (MIS) Schottky diodes. *AIP Advances*, 5(9), 097103.
- Sliozberg, K., Schäfer, D., Erichsen, T., Meyer, R., Khare, C., Ludwig, A., ve Schuhmann, W. (2015). High-Throughput Screening of Thin-Film Semiconductor Material Libraries I: System Development and Case Study for Ti-W-O. *ChemSusChem*. 8(7), 1270-1278.

- Tan, G.-L., Tang, D., Dastan, D., Jafari, A., Silva, J. P. B., ve Yin, X.-T. (2021). Effect of heat treatment on electrical and surface properties of tungsten oxide thin films grown by HFCVD technique. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 122, 105506.
- Terohid, S. A. A., Heidari, S., Jafari, A., ve Asgary, S. (2018). Effect of growth time on structural, morphological and electrical properties of tungsten oxide nanowire. *Applied Physics A*, 124(8), 567.
- Tung, R. T. (1992). Electron transport at metal-semiconductor interfaces: General theory. *Physical Review B*. 45, 13509.
- Ünal, F. (2022). Investigation of Diode Parameters of Photoconductive and Photovoltaic p-Type Si/Ge-Doped WOx Heterojunction. *Journal of Electronic Materials*, 1-13.
- Ünal, F. (2021). Investigation Of Some Optical And Electrical Properties Of InSe Thin Film, a Window Layer for Photovoltaic Cell Growth on Glass/GaSe Substrate by M-CBD Method. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 11(1), 297-306.
- Ünal, F., ve Aktaş, S. (2022). Işığa Duyarlı n-tipi Katkılı Metal oksit/p-tipi Si Heteroekleminin Elektriksel Karakterizasyonu. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1506-1517.
- Ünal, F., Demir, S., ve Mammadov, H. (2021). Structural, surface morphological, optical and electrical properties of InxSey thin films, an absorber layer for photovoltaic cells fabricated by M-CBD method using different variables. *Turkish Journal of Chemistry*. 45(6), 1761-1773.
- Unal, F., Kurt, M. S., ve Durdu, S. (2022). Investigation of the effect of light on the electrical parameters of Si/TiO2 heterojunctions produced by anodic oxidation on p-type Si wafer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 33, 15834-15847.
- Zheng, H., Ou, J. Z., Strano, M. S., Kaner, R. B., Mitchell, A., ve Kalantar-zadeh, K. (2011). Nanostructured Tungsten Oxide - Properties, Synthesis, and Applications. *Advanced Functional Materials*, 21(12), 2175-2196.
- Zurnacı, M., Ünal, F., Demir, S., Gür, M., Şener, N., ve Şener, İ. (2021). Synthesis of a new 1,3,4-thiadiazole-substituted phenanthroimidazole derivative, its growth on glass/ITO as a thin film and analysis of some surface and optoelectronic properties. *New Journal of Chemistry*, 45(48), 22678-22690.

## Sarp-Giresun Otoyol Çevresindeki Yapraklı Karayosunlarında Ağır Metal Analizleri

Bahadır KOZ<sup>1\*</sup>

### Öz

Ağır metalleri biriktirme yeteneklerinden dolayı karayosunları, özellikle havadaki ağır metal kirliliğini takip edebilmek için oldukça uygundur. Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesindeki(Sarp-Giresun) karayosunları ve toprakları ağır metal analizi, ICP-MS (Endüktif Eşleştirilmiş Plazma – Kütle Spektrometresi) spektrometri yöntemi kullanılarak belirlendi. Karayosunlarının nitel analizi neticesinde, numunelerin V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb içerdiği gösterildi. Şehir merkezlerinden alınan karayosunu örneklerinde Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr ve V ortalama konsantrasyon değerleri 23,26, 101,15, 42,26, 55,45, 8,21, 5413,12, 333,58, 18,19 ve 27,00 olarak belirlenirken, şehirler arasından alınan karayosunu örneklerinde ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla 17,57, 96,79, 42,38, 52,76, 6,23, 4561,71, 318,00, 17,65 ve 26,52 mg/kg olarak bulundu. Genel olarak karayosunlarında vanadyum, krom, mangan, demir, kobalt, nikel, bakır, çinko ve kurşun konsantrasyonlarının 2006-2017 yılları arasında azaldığı görüldü. Şehir merkezlerinden alınan toprak örneklerinde, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr ve V ortalama konsantrasyon değerleri 30,53, 166,19, 87,62, 183,12, 20,04, 15334,61, 730,63, 28,43 ve 50,83 mg/kg, merkez aralarından alınan toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla şöyledir: 25,61, 286,21, 79,07, 123,89, 22,35, 14801,74, 461,79, 23,62 ve 44,57. Türkiye'de Sarp-Giresun Karayolu'ndaki karayosunlarında ki ağır metal konsantrasyonların da azalma olmasına rağmen, Dünya ile kıyaslandığında karayosunlarındaki ağır metal konsantrasyonları hala yüksek olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karayosunu; Ağır Metal; ICP-MS; Kirlilik

## Heavy Metal Analysis in Mosses Around Sarp-Giresun Highway

### Abstract

#### Abstract

Because of their ability to accumulate heavy metals, mosses are especially suitable to monitor heavy metal airborne pollution. The heavy metal analysis of mosses and soil in the East Black Sea region(Sarp-Giresun) of Turkey is determined using ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) spectrometry method. A qualitative moss analysis has shown that the samples contained V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn and Pb. While the mean concentration values of V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn and Pb in the moss samples collected from city centers are determined as 27.00, 18.19, 333.58, 5413.12, 8.21, 55.45, 42.26, 101.15 and 23.26 mg/kg, the mean concentration values in the moss samples collected from the city intervals are found as 17.57, 96.79, 42.38, 52.76, 6.23, 4561.71, 318.00, 17.65 and 26.52 mg/kg, respectively. In general, the concentration of Vanadium, Chromium, Manganese, Iron, Cobalt, Nickel, Copper, Zinc and Lead in mosses decreased between 2006 and 2017. While the mean concentration values of Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, and V in the soil samples collected from city centers are 30.53, 166.19, 87.62, 183.12, 20.04, 15334.61, 730.63, 28.43, and 50.83 mg/kg, the mean concentration values in the soil samples collected from the city intervals are 25.61, 286.21, 79.07, 123.89, 22.35, 14801.74, 461.79, 23.62 and 44.57 mg/kg, respectively. Despite the decrease in heavy metal concentrations in mosses on Sarp-Giresun Highway in Turkey, it is seen that heavy metal concentrations in mosses are still high when compared to the world.

**Keywords:** Moss; Heavy metal; ICP-MS; Pollution

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Giresun, Türkiye, bahadir.koz@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3264-0144>



## 1. Giriş

Ağır metaller, hem insanlar hem de volkanik patlamalar, kozmik ve toprak kaynaklı tozlar, orman yangınları ve okyanus kaynaklı tuzlar gibi doğal kaynaklar tarafından çevreye verilmektedir. İnsan doğaya, demir çelik fabrikaları, petro-kimya sanayii, gübre sanayii, kömürle çalışan termik santraller, trafik gibi kaynaklar tarafından ağır metal vermektedir. (U.S. Government, 2001) Markert vd.,'ne göre; çevredeki ağır metallerin çoğu insan kaynaklıdır (Markert, vd., 2003). Türkiye'deki motorlu araçların sayısı, dünyada da olduğu gibi son 10 yılda %75 artmıştır. Bu yüzden, Dünyadaki çoğu ülkede nüfusun yoğun olduğu bölgelerde havadaki ağır metallerin monitörlenmesi, hayati derecede önemli bir hal almıştır.

Havadaki kirliliğin monitörlenmesi, son 30-40 yılda oldukça önemli hale gelmiştir. Hava kirliliğini ölçen teknik aletlerin oldukça masraflı olmasından dolayı, alternatif ölçme yöntemleri geliştirilmiştir. Biyosferin içeriğini anlayabilmek amacıyla oldukça verimli ve doğal bir yöntem olan canlı organizmaların ve Biyomateryallerin kullanıldığı Biyomonitörleme yöntemi Wolterbeek(2002) tarafından önerilmiştir. Kormofitlerin aksine, karayosunları küçük, iletim demetleri ve kökleri olmayan, hücre ve dokularını dış etkilere karşı koruyan bir Kütikül tabakasına sahip olmayan bitkilerdir. Karayosunları, su ve besinleri havadan bütün yüzeyleri ile absorblayarak almaktadırlar (Sassman, vd., 2015).

Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada, 1993'ten beri kurşunlu benzin kullanımını yasaklamışlardır. Dünyadaki bazı ülkelerde benzer kanunlar çıkartmışlardır (Dockery, 2001) Massadeh ve Snook(2006)'ya göre; böyle düzenlemeler, çevre farkındalığının önemli şekilde artmasına ve havadaki kurşun emisyonlarının önemli derecede azalmasına neden olmaktadır.

Araçlardaki kurşunlu benzin kullanım miktarı 2001 yılından beri kurşunsuz benzin kullanımı ve LPG kullanım oranlarına göre oldukça azalmıştır. 2003'teki verilere göre; kurşunlu benzin %39, LPG %36 iken kurşunsuz benzin tüketimi %25 idi (<http://cevreorman.gov.tr/moz>; 15.Şubat.2015). 2007 yılında kurşunlu benzin satışının yasaklanması ile birlikte Türkiye'de ki Trafik kaynaklı hava kirliliğinde de gittikçe iyileşme olduğu görülmektedir (<http://www.tuik.gov.tr> ; 28.Şubat.2018)).

Bu çalışmanın amacı; son 11 yıl esnasında (2006 ile 2017) Doğu Karadeniz sahil yolunun Sarp-Giresun otoyolu çevresindeki karayosunlarındaki trafik kaynaklı ağır metallerin ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy) cihazı kullanılarak belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlar, 2006 yılında elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak tartışıldı. Sonuçlar, Avrupa'daki benzer sonuçlarla kıyaslanarak, Türkiye'deki son 11 yıldaki trafik kaynaklı havadaki ağır metal miktarları ortaya konulacaktır (Ilyin ve Travnikov, 2005). Araçlarda kurşunlu benzin kullanımının yasaklanmasından sonraki süreçte havadaki kurşun miktarında azalma olup olmadığı belirlendi.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı

Araştırma alanı Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesi sahilinde yer alıp yaklaşık 300 km uzunluğundadır, bu yol üzerinde 3 il ve 21 ilçe merkezi bulunmaktadır. Kontrol bölgesi olarak ta insan kaynaklı kirlilikten uzak Artvin ili, Şavşat ilçesi, Savaş köyü seçilmiştir. Zechmeister vd.(2003)'ne göre; çevre kirliliğinin monitörlenmesinde kullanılan Karayosunları SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub>'ler klorofillerini parçaladığı için hava kirliliği olan bölgelerde oldukça az bulunmaktadır.

### 2.2. Örnekleme ve Hazırlama

Tablo 3'te görüldüğü gibi karayosunları 19 şehir merkezi ve 33 şehir merkezi arasından, ayrıca Tablo 6'da da görüldüğü gibi toprak örnekleri 5 şehir merkezi ve 5 şehir merkezi arasından 2017 yılının Ekim ayında toplandı. Toplanan numuneler plastik buzdolabı poşetlerine konuldu ve üzerlerine örneğin toplandığı istasyonun habitatu lokasyonu gibi notlar alındı. Örnekler Laboratuvara getirilerek mikroskobik ve makroskobik incelemelere tabii tutuldu. Karayosunları, Smith tarafından yazılan; The Moss Flora Britain and Ireland (Smith, 2004), Frey ve arkadaşları tarafından yazılan; Die Moos-und Farnpflanzen Europas (Frey, vd., 1985) ve Pedrotti tarafından yazılan Flora dei Muschi D'Italia (Pedrotti, 2001) gibi Flora kitapları yardımıyla tür teşhisleri gerçekleştirildi. Tür teşhisleri gerçekleştirilen karayosunları ağır metal analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Giresun Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan ICP-MS spectrometre cihazına gönderildi.

### 2.3. Endüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi (ICP-MS) analizleri

2 ml hidrojen peroksit ve 6 ml nitrik asit ile 1 gr numune mikrodalga çözme sisteminde çözüldü (CEM MARSX, 240/50, USA). Elde edilen tortu 10 ml saf suda seyreltildi (Turkmen ve Dura, 2016). Analizden önce örnekler 0.45 µm'lik filtrelerden geçirildi ve kalibrasyon standartları multi element standart'larına göre hazırlandı. (Merck, Darmstadt, Almanya). Geri kazanım yüzdesi Ni için 93, Cu için 104, Cr için 113, Zn için 102, Cd için 91 ve Pb için 115. Örnekler, mgkg<sup>-1</sup> yaş ağırlık olarak bir ICP-MS(BRUKER 820-MS, Almanya) kullanılarak numuneler 3 kez analiz edildi (Turkmen ve Dura, 2016). Bu ICP-MS cihazının çalışma şartları Tablo 2'de verilmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3'te, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb'un ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla 26,19, 17,92, 327,58, 4894,96, 6,91, 54,32, 42,13, 99,30, 0,33 ve 19,38 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarının element konsantrasyonları, çalışma alanından toplanan karayosunlarının element konsantrasyonlarından oldukça düşük olduğu görüldü.

Tablo 4'te, şehir merkezi, şehirler arası ve kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarının ortalama konsantrasyon değerleri görülmektedir. Şehir merkezlerinden toplanan toprak numunelerinin ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Pb'un 27,00, 18,19, 333,58, 5413,12, 8,21, 55,45, 42,26, 101,15 ve 23,26 mg.kg<sup>-1</sup>'dir; Oysa ki şehirler arasından toplanan karayosunlarının konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 26,52, 17,65, 318,00, 4561,71, 6,23, 52,76, 42,38, 96,79 ve 17,57 mg.kg<sup>-1</sup> olurken, kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarındaki konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 5,01, 15,07, 209,17, 2908,40, 3,62, 34,57, 11,84, 23,76 ve 3,22 mg.kg<sup>-1</sup> olmaktadır.

Tablo 5'te, Şehir merkezi, şehirler arası ve kontrol bölgesinden toplanan toprak numunelerinin ortalama konsantrasyon değerleri görülmektedir. Şehir merkezlerinden toplanan karayosunu numunelerinin ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Pb'un 50,83, 28,43, 730,63, 15334,61, 20,04, 183,12, 87,62, 166,19 ve 30,53 mg.kg<sup>-1</sup>'dir; Oysa ki şehirler arasından toplanan karayosunlarının konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 44,57, 23,62, 461,79, 14801,74, 22,35, 123,89, 79,07, 286,21 ve 25,61 mg.kg<sup>-1</sup> olurken, kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarındaki konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 53,88, 32,06, 535,73, 13145,58, 19,73, 91,18, 95,92, 191,48 ve 27,01 mg.kg<sup>-1</sup> olmaktadır.

Tablo 6'da çalışma alanından toplanan toprak numunelerinin konsantrasyon değerleri görülmektedir. V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, ve Pb'un ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla 47,70, 26,03, 596,21, 15068,18, 21,20, 153,50, 83,85, 226,20, 1,58 ve 208,07, belirlendi. Beklenildiği gibi çalışma alanından toplanan topraklardan elde edilen konsantrasyon değerleri, kontrol bölgesinden elde edilen değerlere göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi 2006 yılında Türkiye'deki araç sayısı 12,227,393 iken 2017 yılında bu sayı 21,090,424'e yükseldi. Türkiye'nin nüfusu ise 2006 yılında 69,729,967 iken bu sayı 2017 yılında 80.810.525'e yükselmiştir (<http://www.tuik.gov.tr>; 28.Şubat.2018). Bununla birlikte, Vanadyum, Krom, Mangan, Demir, Kobalt, Nikel, Bakır, Çinko, Kadmiyum ve Kurşun'un konsantrasyon değerlerinde önemli bir azalma olduğu görülmektedir. 2006 ile 2017 yılları arasında, Avrupa'da olduğu gibi (Harmens, vd., 2007; Harmens, vd., 2008) Thöni ve arkadaşları (Thöni, vd., 2011), 1990 ve 2005 yıllarında Bulgaristan'da yapmış oldukları çalışmalarda da ağır metal konsantrasyonlarında önemli bir azalma olmasına rağmen hala oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Araç trafiği, hem partikül büyüklüğü hem de ağır metal kirliliği bakımından hava için önemli bir kirletici kaynaktır (Thorpe ve Harrison, 2008) Araçlardan çevreye verilen ağır metaller; petrol yakıtları, dizel motorlar, lastik kaplamaları, fren balataları, yüzey aşınması gibi çeşitli kaynaklardan verilmektedir.

Bunlarla birlikte; trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin önemli bir sebebi de trafikteki sürekli dur-kalk hareketidir. Westerlund ve Johansson'a göre (Westerlund ve Johansson, 2002); Dur-Kalk hareketi fren balatalarından çevreye verilen Cu ve Pb'nin konsantrasyon değerlerini 5 ile 9 kat arasında arttırdığını tespit etmişlerdir.

Şehir merkezlerinden toplanan bütün karayosunu örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları, şehirlerarası ve kontrol bölgesinden toplanan karayosunu numunelerindeki ağır metal konsantrasyonlarının hepsinden daha yüksektir. Bu durumun temel nedenini şehirleşme, trafik yoğunluğu, araç sayısı, nüfus gibi etkenler oluşturmaktadır. Çalışma sahasındaki kurşunun ana kaynağını kurşunlu benzin oluşturmaktadır. Kurşun; çocukların zeka gelişimini olumsuz yönde etkilediği gibi yetişkinlerde de kardiyovasküler hastalıklara sebep olmaktadır (Communities of the European Commission, 2002).

Trafikle ilişkili Bakır ve Çinko'nun ana kaynağını araba frenleri ve araba lastikleri oluşturmaktadır (Zechmeister, vd.,2005). Hulskotte ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada Hollanda'daki Bakır emisyonlarının %80'i araçların fren balatalarından kaynaklandığını belirtmektedirler, ayrıca Cu ve Zn emisyonlarına, araçların dur-kalk hareketleri ve fren balataları katkı sağlamaktadır (Hulskotte, vd., 2007).

Cu, Zn ve Co, çevreye arabalar ve kamyonlar tarafından verilmektedir (Garg., vd., 2000). Krom, Mangan,, Demir ve Nikel aynı zamanda Dünyanın yer kabuğunda da mevcuttur. İnsanlar, ağır metaller gibi tehlikeli kimyasal atıklar ihtiva eden tehlikeli atıkların yakınında yaşamaktadırlar. Kobalt'ın akut toksisitesi, astım ve pneumonia gibi akciğerleri etkilediği gözlenmiştir. Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı, Kobalt ve Krom'un insanlar için muhtemelen kanserojen olduğunu belirlemiştir (IARC, 1993). Havadan yüksek oranda Krom bulunduğu Akciğerlere, mideye ve bağırsaklara zarar vermektedir. Bilindiği gibi Nikel insanlarda alerjik reaksiyonlara sebep olmaktadır. Bütün bunlar; gübreler, endüstriyel atıklar, oto egzostları ve araç akaryakıtlarından çevreye verilmektedir (Koz, vd., 2008).

Mevcut sonuçlar, Tablo 7'de literatürdeki veriler ile kıyaslanmaktadır. Tablo 7'den de görüldüğü gibi Avrupa'daki diğer ülkelerle kıyaslandığında, çalışma kapsamında elde edilen sonuçların oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye'de önemli çevre problemleri olduğunun göstergesidir. Tablo 7'ye göre; Finlandiya, Fransa, Almanya, ve Romanya'daki ağır metal konsantrasyonlarındaki düşüş eğiliminin Türkiye'de de gözlemlendiği görülmektedir. Türkiye'de de gözlenen ağır metal konsantrasyonlarındaki bu düşüş eğiliminin temel sebepleri, 2007 yılında

kullanımdan kaldırılan kurşunlu benzin ve toplumda giderek artan çevre koruma farkındalığından kaynaklanmaktadır.

2007 yılında Türkiye’de kurşunlu benzin kullanımını yasaklandıktan sonra karayosunlarındaki kurşun konsantrasyonlarında önemli bir düşüş olduğu 2006 ve 2017 yıllarında yapılan çalışmalarla ortaya konuldu (<http://www.ekonomihaber7.com>; 8.Mart.2018)). Doğadaki kurşun kirliliğinin ana kaynağı kurşunlu benzin kullanımınıdır. Kurşun kirliliği insan nüfusu, şehirleşme ve araç sayısı ile ilişkilidir ve kurşun hem çocuklar hem de yetişkinlerde sinir sistemini etkilemektedir. Aynı zamanda yüksek miktarlarda kurşuna maruz kalmak çocuklarda beyin ve böbreklere zarar verirken, yetişkinlerde ölüme neden olabilmektedir (ATSDR, 2003).

Vanadyum, beyin hücre bariyerlerini ve kan damarlarını geçebilmektedir. Nefesle alındıktan sonra özellikle gerçekleşen toxisitenin belirtileri yeşil renkli bir dil, ishal ve kramplardır (Mukherjee, vd., 2004). Krom, karbonhidratlar ve lipid metabolizmasının temel elementi olmasına rağmen, eksikliği kardiyovasküler hastalıklara sebep olabilmektedir (Dünya sağlık örgütü (WHO), 1988). Mangan’la kirlenmiş bir çevre de, Mongolizm ve nörolojik hastalıkların görülme ihtimali artmaktadır (Dünya sağlık örgütü (WHO), 1980).

Kadmiyum insan aktiviteleri neticesinde çevreye verilen bir toksik elementtir. İnsanlar sigara dumanı veya yiyeceklerle kadmiyuma maruz kalabilmektedirler. Aşırı bakır sebebiyle oluşan toxisite çok nadirdir, gastrointestinal problemlere öncülük edebilmektedir(Dünya sağlık örgütü (WHO), 1992).

Nikel, bazı enzimlerin ve Üreaz’ın kofaktörüdür, fakat nikel toxisitesi gelişimin yavaşlamasına ve anemiye sebep olabilmektedir (Dünya sağlık örgütü (WHO), 1991).

Aşırı çinko çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Akut toxisite belirtileri; Bulantı, kusma, ishal, uyuşukluk ve ateştir (Dünya sağlık örgütü (WHO), 2001).

Ozaki vd., (2004)’te tarafından yapılan çalışma ile fren balatalarının, trafikte dur-kalk hareketinin, lastik kaplamalarının, asfalt kaplamalarının, çevreye verilen Zn, Cd, Ni emisyonlarına katkıda bulunduğunu göstermişlerdir.

Hava yoluyla taşınan ağır metaller, buldukları ekosistemlere girerler ve konsantrasyonlarına ve toxisitelerine bağlı olarak, bu ekosistemlerin bileşenleri için büyük veya küçük bir tehdit oluştururlar. Ağır metallerin topraktaki canlı organizmalarında birikmesinin çevre üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabileceğini söylemektedir (Herpin, vd., 1996),

Vanderpoorten ve goffinet (2009), briyofitlerin çevresel koşullara bağlı olarak morfolojik karakterlerinde çok çeşitli intraspesifik varyasyon sergilediğini belirtmektedirler. Substrat konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında, analiz edilen karayosunu örneklerinde tespit edilen diğer elementlerin bolluğu, düşük seviyelerden yüksek seviyelere kadar değişmektedir. Böyle bir varyasyon, yaprak yüzey alanı gibi karayosunlarının morfolojik ve anatomik yapısı ve rüzgar yönü,

element konsantrasyonları ve havadaki nem gibi diğer çevresel etkilerle doğrudan ilişki gösterebilmektedir (Koz, vd., 2008).

#### **4. Sonuçlar ve Öneriler**

Bölgedeki ağır metal konsantrasyonları 2017 yılında 2006 yılına göre oldukça azalmıştır. Çevre kontrolü için karayosunlarının ideal indikatör canlılar olduğu bir kez daha ortaya konulmaktadır. Substrat konsantrasyonu ile karayosunu örneklerindeki element miktarları karşılaştırıldığında, element konsantrasyonlarının daha yüksek veya daha düşük olmasının nedeni karayosunlarının morfolojik ve anatomik yapısı ile iklim koşullarından kaynaklandığı görülmektedir. Böyle bir çalışma 5 yılda bir tekrarlanarak bölgedeki ağır metal kirliliği kontrol altında tutulmalıdır.

Son olarak, karayosunları çevre kirliliğinin belirlenmesinde önemli indikatör bitkilerdir.

#### **Teşekkür**

Bu araştırma Giresun Üniversitesi BAP(Bilimsel Araştırma Projeleri) koordinatörlüğü tarafından FEN-BAP-A-010617-142 numaralı proje ile finansal olarak desteklendi. Maddi desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

#### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### **Kaynaklar**

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Division of Toxicology, Clifton Road, NE, Atlanta, GA, available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/>.  
Communities of the European Commission, 2002. Commission Regulation (EC) 221/2002 of 6 February 2002 amending regulation (EC) No.466/2002 setting maximum levels for certain

- contaminants in foodstuffs. Official journal of the European Communities. Brussels, 6 February 2002; 2008.
- Dockery, D.W., 2001. Epidemiological evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 109; 483–486.
- Frey, W., Frahm, J. P., Fischer, E., Lobin, W. Die Moosund Farnpflanzen Europas. Stuttgart: G. Fischer; 1985.
- Garg, B.D., Cadle, S.H., Mulawa, P.A., Groblicki, P.J., Laroo, C. and Parr, G.A., 2000. Brake wear particulate matter emissions. *Environmental Science Technology*, 34; 4463-4469.
- Harmens, H., Norris, D.A., Koerber, G.R., Buse, A., Steinnes, E., Ruhling, A., 2007. Temporal trends in the concentration of arsenic, chromium, copper, iron, nickel, vanadium and zinc in mosses across Europe between 1990 and 2000. *Atmospheric Environment*, 41; 6673-6687.
- Harmens, H., Norris, D.A., Koerber, G.R., Buse, A., Steinnes, E., Ruhling, A., 2008. Temporal trends (1990-2000) in the concentration of cadmium, lead, and mercury in mosses across Europa. *Environmental Pollution*, 151; 368-376.
- Herpin, U., Berlekamp, J., Markert, B., Wolterbeek, B., Grodzinska, K., Sievers, U., Lieth, H., Weckert, V., 1996. The distribution of heavy metals in a transect of the three states Netherlands, Germany and Poland determined with the aid of moss monitoring. *Science of the Total Environment*, 187; 185-198.
- Hulskotte, J.H.J., Denier van der Gon, H.A.C., Visschedijk, A.J.H., Schaap, M., 2007. Brake wear from vehicles as an important source of diffuse copper pollution. *Water Science & Technology*, 56; 223-231.
- <http://www.cevreorman.gov.tr/moz> (15.Şubat.2006).
- <http://www.ekonomihaber7.com> (8.Mart.2018)
- <http://www.tuik.gov.tr> (28.Şubat.2018)
- IARC., 1993. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 58, Lyon, France.
- Ilyin, I., Travnikov, O., 2005. Modelling of Heavy Metal Airborne Pollution in Europa: Evaluation of the Model Performance. EMEP/MS-CHE Technical Report 8/2005.
- Koz, B., Cevik, U., Ozdemir, T., Duran, C., Kaya, S., Gundogdu, A. and Celik, N., 2008. Analysis of mosses along Sarp-Samsun highway in Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 153; 646-654.
- Meteorological Synthesizing Centre-East, Moscow, Russian Federation. Available from:
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. *Bioindicators&Biomonitoring, Principles, Concepts and Applications*. London, 334; 2003.
- Massadeh, A.M. Snook, R.D., 2002. Determination of Pb and Cd in road dusts over the period in which Pb was removed from petrol in the UK. *Journal of Environmental Monitoring*, 4; 567–572.
- Mukherjee, B., Patra, B., Mahapatra, S., Banerjee, P., Tiwari, A., Chatterjee, M., 2004. Vanadium-An element of atypical biological significance. *Toxicology Letters*, 150; 135-143.
- Ozaki, H., Watanabe, I., Kuno, K., 2004. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles. *Water, Air&Soil Pollution*, 157; 209-223.
- Pedrotti, C. C. *Flora Dei Muschi D’Italia*. Rome: Antonia Delfino Editore; 2001.
- Sassman, S., Weidinger, M., Adlassnig, W., Hofhansl, F., Bock, B., Lang, I., 2015. Zinc and copper uptake in *Physcomitrella patens*: limitations and effects on growth and morphology. *Environmental and Experimental Botany*, 2015b; 118; 12-20.
- Smith, A. J. E. *The moss flora of Britain and Ireland*. Edinburgh: Cambridge University Press; 2004.
- Thorpe A., Harrison, R.M., 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review, *Science of the Total Environment*, 400; 270-282.
- Thöni, L., Yurukova, L., Bergamini, A., Ilyin, I., Matthaei, D., 2011. Temporal trends and spatial patterns of heavy metal concentrations in mosses in Bulgaria and Switzerland: 1990-2005. *Atmospheric Environment*, 45; 1899-1912.
- Turkmen, M., Dura, N., 2016. Assessment of heavy metal concentrations in fish from south western black sea. *Indian Journal of Geo Marine Science*, 45(11); 1552-1559.

- U.S. Government. Control of emissions of hazardous air pollutants from mobile sources; final rule. Federal register 40, CFR parts 80 and 86. US Government Printing Office, Washington, DC; 2001.
- Westerlund, K.G., Johansson, C. Emissions of metals and particulate matter due to wear of brake linings in Stockholm. In: Brebbia, C.A., Martin-Duque, J.F.(Eds), Air Pollution X. WIT Press, Southampton, pp793-802; 2002.
- Wolterbeek, B., 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120 (1); 11–21.
- World Health Organization. Environmental Health Criteria 58- Chromium. Geneva: WHO; 1988a.
- World Health Organization. Environmental Health Criteria-Manganese. Geneva: WHO; 1980b
- World Health Organization. Environmental Health Criteria- Cadmium. Geneva: WHO; 1992
- World Health Organization. Environmental Health Criteria- Nickel. Geneva: WHO; 1991a
- World Health Organization. Environmental Health Criteria- Zinc. Geneva: WHO; 2001a
- Vanderpoorten, A., Goffinet, B. Introduction to bryophytes. New York: Cambridge University Press; 2009.
- Zechmeister, H. G., Grodzinska, K., & Szarek-Lukaszewska, G. Bryophytes. In B. A. Markert, A.M. Breure, & H. G. Zechmeister (Eds.), *Bioindicators/biomonitoring (principles, assessment, concepts)* (pp. 329–374). Amsterdam: Elsevier; 2003.
- Zechmeister, H.G., Hohenwallner, D., Riss, A., Hanus-Ilmar, A., 2005. Estimation of element deposition derived from roadtraffic sources by using mosses. *Environmental Pollution*, 138; 238-249.



**Tablo 1.** Sarp-Giresun Otoyolu boyunca istasyonlar

Konum	Karayosunu Türleri	Ortalama Araç Sayısı (2006)	Ortalama Araç Sayısı (2016)	Nüfus (2005)	Nüfus (2017)
Hopa	<i>Calliergonella cuspidata</i>	2737	7564	15445	26805
Hopa-Arhavi	<i>Plagiothecium succulentum</i>	4265	8878		
Arhavi	<i>Pleurozium schreberi</i>	3545	7020	14079	20452
Arhavi-Fındıklı	<i>Pleurozium schreberi</i>	4265	7412		
Fındıklı-Ardesen	<i>Scleropodium purum</i>	4779	8630		
Ardesen	<i>Homalothecium sericeum</i>	4231	9720	45392	40640
Ardesen-Pazar	<i>Eurhynchium striatum</i>	4689	11011		
Pazar	<i>Leptodictyum riparium</i>	5498	11142	14682	30463
Pazar-Çayeli	<i>Eurhynchium hians</i>	5756	10674		
Çayeli-Rize	<i>Eurhynchium striatum</i>	9255	16108		
Rize	<i>Hypnum cupressiforme</i>	25261	36884	78144	147317
Rize-Derepazarı	<i>Hypnum resupinatum</i>	7211	17958		
Derepazarı-İyidere	<i>Homalothecium sericeum</i>	7211	15599		
İyidere-Of	<i>Amblystegium varium</i>	7270	14065		
Of	<i>Calliergonella cuspidata</i>	7270	13873	25478	41248
Of-Sürmene	<i>Homalothecium sericeum</i>	9151	16674		
Sürmene	<i>Eurhynchium striatum</i>	12342	19648	17063	25669
Sürmene-Araklı	<i>Homalothecium sericeum</i>	11602	18417		
Araklı	<i>Eurhynchium striatum</i>	11387	18540	22506	47191
Araklı-Arsin	<i>Hypnum cupressiforme</i>	11355	23012		
Arsin	<i>Eurhynchium striatum</i>	13175	22604	13038	28175
Arsin-Yomra	<i>Homalothecium sericeum</i>	13956	28851		
Yomra-Trabzon	<i>Brachythecium albicans</i>	13956	49209		
Trabzon	<i>Calliergonella cuspidata</i>	30456	67245	214949	332504
Trabzon-Akçaabat	<i>Hypnum cupressiforme</i>	28985	50939		
Akçaabat	<i>Rhynchostegium murale</i>	28540	47583	39102	121535
Akçaabat-Çarşıbaşı	<i>Bryum capillare</i> Hedw.	10567	16407		
Çarşıbaşı	<i>Amblystegium varium</i>	10389	15361	8532	15022
Vakfikebir	<i>Hypnum resupinatum</i>	11245	16380	33394	26787
Beşikdüzü	<i>Brachythecium albicans</i>	11245	15301	29766	21041
Beşikdüzü-Eynesil	<i>Eurhynchium striatum</i>	7856	12211		
Eynesil-Görele	<i>Hypnum cupressiforme</i>	7929	12636		
Görele	<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	8476	12294	27214	29806
Görele-Tirebolu	<i>Hypnum cupressiforme</i>	8328	11977		
Tirebolu	<i>Hypnum cupressiforme</i>	7301	12318	16112	30814
Espiye-Keşap	<i>Thuidium tamariscinum</i>	7669	14808		
Keşap-Giresun	<i>Amblystegium varium</i>	6350	19627		
Giresun	<i>Eurhynchium striatum</i>	19351	27001	83686	134937

**Tablo 2.** ICP-MS çalışma koşulları ve ayarları

<b>Parameters</b>	<b>Settings</b>	<b>Parameters</b>	<b>Settings</b>
Plasma flow	18.0 (l/min)	Corner lens	-193 (volt)
Auxiliary flow	1.80 (l/min)	Left mirror lens	45 (volt)
Nebulizer flow	0.90 (l/min)	Right mirror lens	33 (volt)
Sheath gas	0.15 (l/min)	Bottom mirror lens	38 (volt)
CRI gas He	160 (ml/min)	Entrance lens	-1 (volt)
CRI gas H2	100 (ml/min)	Fringe bias	2.5 (volt)
RF power	1.40 (kW)	Entrance plate	-39 (volt)
Sampling depth	6.5 (mm)	Pole bias	0 (volt)
Pump rate	4 (rpm)	Scan mode	Peak hopping
Stabilization delay	15 (s)	Dwell time	20 (ms)
Spray chamber	3 (°C)	Points per peak	1
First extraction lens	-1 (volt)	Scans/Replicate	50
Second extraction lens	-180 (volt)	Replicates/Sample	3
Third extraction lens	-226 (volt)		

**Tablo 3.** Karayosunlarındaki ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)

Örnek numarası	Karayosunu Türleri	Konum	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
1	<i>Calliergonella cuspidate</i> (Hedw.)Loeske	Hopa	21,20	13,60	327,87	3897,38	3,70	34,08	23,40	23,48	N.D.	4,55
2	<i>Brachythecium albicans</i> (Hedw.)B,S,G,	Arhavi-Hopa	23,05	12,39	318,38	3546,73	3,28	41,10	18,70	45,33	N.D.	6,99
3	<i>Plagiothecium succulentum</i> (Wils.)Lindb,	Arhavi-Hopa	22,17	12,68	308,30	3493,38	3,30	40,27	34,59	34,78	N.D.	12,87
4	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	Arhavi-Hopa	21,89	11,75	287,47	3568,36	3,08	35,08	40,12	43,23	N.D.	13,83
5	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Arhavi-Hopa	22,74	12,80	290,48	3472,37	2,84	42,39	47,30	28,50	N.D.	13,28
6	<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.)Mitt,	Arhavi	24,28	13,06	310,84	3988,33	3,85	40,56	36,79	67,54	N.D.	12,79
7	<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.)Mitt,	Fındıklı-Arhavi	22,75	13,58	308,73	3890,43	3,79	39,83	49,33	75,30	N.D.	11,23
8	<i>Scleropodium purum</i> (Hedw.)Limpr,	Ardeşen-Fındıklı	23,13	12,85	329,07	4362,04	3,53	49,03	38,72	68,95	N.D.	14,29
9	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	Ardeşen	23,66	20,65	338,74	4796,30	4,29	36,70	30,98	82,90	N.D.	17,33
10	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw.) Schimp,	Pazar-Ardeşen	22,86	17,30	310,37	4662,80	3,34	40,39	35,20	54,78	N.D.	15,49
11	<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw.)Warnst,	Pazar	25,38	11,27	323,48	3865,83	4,23	50,44	40,30	48,20	N.D.	20,94
12	<i>Eurhynchium hians</i> (Hedw.)Lac,	Çayeli-Pazar	24,28	20,57	310,60	4132,88	3,65	38,50	40,38	65,40	N.D.	11,25
13	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	Çayeli-Pazar	23,63	17,45	327,66	4438,74	3,78	47,30	30,80	76,93	N.D.	7,85
14	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw.) Schimp,	Rize-Çayeli	24,29	13,86	319,54	4569,08	5,38	44,40	36,582	95,56	N.D.	16,81
15	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Rize	37,50	12,03	321,30	4144,02	7,13	25,80	71,99	119,42	0,15	31,54

16	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw.) Schimp,	Derepazarı- Rize	28,50	12,89	307,78	3757,13	5,78	46,94	40,94	87,22	N.D.	12,37
17	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	Derepazarı- Rize	28,30	15,58	329,95	4434,37	6,33	37,97	45,98	76,40	N.D.	11,23
18	<i>Hypnum resupinatum</i> Tayl,	Derepazarı- Rize	27,20	18,65	304,47	4276,87	6,57	50,67	58,33	45,74	N.D.	16,20
19	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	İyidere- Derepazarı	25,60	19,73	328,96	4584,81	6,64	60,84	56,97	67,22	N.D.	5,67
20	<i>Amblystegium varium</i> (Hedw,) Lindb,	Of-İyidere	29,37	20,54	320,57	4704,39	6,86	45,73	40,65	70,45	N.D.	8,76
21	<i>Calliergonella cuspidate</i> (Hedw,)Loeske	Of	29,81	24,69	340,57	4754,37	5,78	57,12	44,11	87,32	N.D.	9,61
22	<i>Tortella fragilis</i> (Hook,&Wils,)Limpr,	Of	28,65	24,17	307,65	5203,18	6,70	63,23	37,57	88,99	N.D.	14,53
23	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw,)B,S,G,	Sürmene-Of	29,08	20,43	338,74	4876,63	5,90	50,16	49,75	90,35	N.D.	8,90
24	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,	Sürmene	20,78	24,17	347,36	5547,20	7,03	52,73	47,65	134,26	N.D.	18,74
25	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw,)B,S,G,	Araklı- Sürmene	20,95	18,84	310,84	4892,00	6,22	60,28	68,70	97,53	N.D.	19,02
26	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Araklı- Sürmene	26,54	19,27	330,86	4673,87	6,10	61,23	50,17	70,40	N.D.	4,67
27	<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid,)Mitt,	Araklı	23,98	17,48	342,74	5377,16	6,87	73,57	40,34	80,90	N.D.	5,76
28	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,	Araklı	28,40	19,75	339,07	5406,38	6,55	65,16	44,59	98,05	N.D.	11,28
29	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Arsin- Araklı	25,93	11,90	320,45	5238,38	5,84	67,39	20,44	111,87	N.D.	14,39
30	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,	Arsin	28,34	20,54	348,90	5703,75	6,45	54,55	29,76	58,34	N.D.	13,20
31	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Yomra- Arsin	26,12	23,03	338,93	5470,95	6,24	70,34	39,79	90,87	N.D.	12,00
32	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw,)B,S,G,	Yomra- Arsin	27,05	24,16	349,64	5500,76	6,66	80,54	40,87	87,60	N.D.	17,85

33	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	Trabzon-Yomra	28,93	18,59	342,94	5683,49	6,97	78,44	50,70	115,29	N.D.	22,28
34	<i>Bryum albicans</i> (Hedw,)B,S,G,	Trabzon-Yomra	26,29	20,93	376,33	5740,63	8,44	80,47	55,58	164,30	N.D.	18,90
35	<i>Ctenidium molluscum</i> (Hedw,)Mitt,	Trabzon-Yomra	27,18	15,77	365,28	7307,44	7,90	85,22	50,70	154,30	N.D.	19,84
36	<i>Calliergonella cuspidate</i> (Hedw,)Loeske	Trabzon	22,07	17,02	431,33	12105,50	14,12	111,36	62,13	289,65	N.D.	88,77
37	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Akcaabat-Trabzon	19,65	18,80	352,84	7893,45	11,20	89,47	40,87	220,50	N.D.	34,26
38	<i>Rhynchostegium murale</i> (Hedw,)B,S,G,	Akcaabat	23,94	19,44	354,08	5683,07	11,20	78,54	44,53	178,30	N.D.	22,35
39	<i>Bryum capillare</i> Hedw,	Çarşıbaşı-Akcaabat	27,05	22,20	348,10	5472,08	8,76	79,32	30,78	154,00	N.D.	18,75
40	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,	Çarşıbaşı-Akcaabat	49,00	34,02	376,06	5320,14	12,21	51,61	59,29	216,68	0,70	52,64
41	<i>Amblystegium varium</i> (Hedw,) Lindb,	Çarşıbaşı-	37,39	27,88	395,21	6719,85	15,96	87,86	45,66	63,16	N.D.	17,15
42	<i>Hypnum resupinatum</i> Tayl,	Vakfikebir	20,53	18,93	356,28	7482,03	15,80	76,00	50,69	89,03	N.D.	34,59
43	<i>Bryum albicans</i> (Hedw,)B,S,G,	Beşikdüzü	28,40	19,88	387,69	7693,34	16,08	68,34	40,85	90,40	N.D.	34,27
44	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,	Eynesil-Beşikdüzü	29,97	19,77	300,04	3142,61	4,97	24,84	25,22	134,99	N.D.	32,82
45	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Görece-Eynesil	28,15	35,66	353,85	3854,21	17,76	116,81	68,59	177,83	0,12	16,92
46	<i>Rhytidadelphus squarrosus</i> (Hedw,) Warnst,	Görece	28,37	19,55	275,03	3518,29	6,42	32,21	41,57	76,21	N.D.	15,84
47	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Tirebolu-Görece	29,73	16,77	261,85	3956,53	5,58	27,01	33,05	112,39	0,33	39,03
48	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,	Tirebolu	8,69	10,37	294,58	2410,33	3,61	20,10	23,15	148,79	0,12	29,00
49	<i>Thuidium tamariscinum</i> (Hedw,)B,S,G,	Keşap-Espiye	25,98	7,63	312,58	3032,91	5,27	12,41	23,45	85,49	0,12	26,51
50	<i>Amblystegium varium</i> (Hedw,) Lindb,	Giresun-Keşap	29,90	11,60	243,18	4488,30	6,84	45,63	44,40	102,73	N.D.	22,00

51	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,	Giresun-Keşap	26,19	8,80	212,37	3141,10	4,56	20,07	32,43	91,92	0,16	22,96
52	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw.) Schimp,	Giresun	25,47	16,72	354,48	4662,15	8,10	35,00	35,58	124,34	0,11	24,13
<b>Ortalama</b>			26,19	17,92	327,58	4894,96	6,91	54,32	42,13	99,30	0,33	19,38
<b>Max-Min</b>			49,00-	35,66-	431,33-	12105,5-	17,76-	116,81-	71,99-	289,65-	1,21-0	88,77-
<b>Değerler</b>			8,69	7,63	212,37	2410,33	2,84	12,41	18,7	23,48		4,55

**Tablo 4.** Şehir merkezi, Şehirlerarası ve Kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarının ortalama, en büyük ve en küçük değerleri

	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Şehir merkezi Ortalama	27,00	18,19	333,58	5413,12	8,21	55,45	42,26	101,15	23,26
	37,5-20,53	27,88-8,8	431,33-212,37		16,08-3,7	111,36-20,07	71,99-23,4	289,65-23,48	88,77-4,55

En büyük-En küçük değer				12105,50-3141,1					
Şehir merkezleri arası Ortalama	26,52	17,65	318,00	4561,71	6,23	52,76	42,38	96,79	17,57
En büyük En küçük değerler	49-19,65	35,66-7,63	376,33-212,37	7893,45-3032,91	17,76-2,84	116,81-12,41	68,7-18,7	220,5-28,5	52,64-4,67
Kontrol bölgesi Ortalama	5,01	15,07	209,17	2908,40	3,62	34,57	11,84	23,76	3,22
En büyük En küçük değerler	9,17-0	20,25-13,17	290,67-146,57	3847,71-2110,39	4,68-2,64	46,32-28,85	13,88-9,42	29,91-19,79	3,61-2,63

**Tablo 5.** Şehir merkezi, Şehirlerarası ve Kontrol bölgesinden toplanan toprakların ortalama, en büyük ve en küçük değerleri.

V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Şehir merkezi	50,83	28,43	730,63	15334,61	20,04	183,12	87,62	166,19	30,53
Ortalama	80,37-17,09	37,3-15,3	890,15- 633,09	18349,25- 9835,99	23,86-15,28	265,32- 113,88	140,28-55,56	222,82-99,84	69,32-11,43
En büyük-En küçük değer									
Şehir merkezleri arası	44,57	23,62	461,79	14801,74	22,35	123,89	79,07	286,21	25,61
Ortalama	63,13-29,55	41,08-7,17	646,63-95,12	26095- 4333,66	39,33-8,22	256,06-16,97	124,79- 25,979	651,23-50,74	47,04-3,04
En büyük En küçük değerler									
Kontrol bölgesi	53,88	32,06	535,73	13145,58	19,73	91,18	95,92	191,48	27,01
Ortalama	74,92-32,84	40,91-23,20	561,24- 510,22	14995,80- 11295,37	21,04-18,43	98,62-83,74	120,40-71,44	229,88- 191,48	28,68-25,35
En büyük En küçük değerler									

**Tablo 6.** Toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları (mg/kg).

Örnek numarası	Konum	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
-------------------	-------	--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------



1	Giresun-Keşap	34,36	30,25	447,14	15766,92	19,22	125,03	70,48	266,88	1,59	32,23
2	Keşap-Espiye	29,55	7,17	95,12	4333,66	8,22	16,97	25,97	50,74	0	4,56
3	Espiye	17,09	15,30	649,44	15378,92	23,17	184,07	55,56	222,82	8,03	39,77
4	Tirebolu-Görece	38,77	30,72	590,96	10253,00	15,28	61,70	76,06	366,56	1,04	41,22
5	Görece	60,14	36,70	633,09	9835,99	18,87	113,88	76,02	99,84	0,24	15,18
6	Vakfikebir-Carşıbası	57,04	41,08	529,12	26095,00	39,33	256,06	98,06	95,67	0,53	3,04
7	Carşıbası-Akcaabat	63,13	8,92	646,63	17560,16	29,74	159,70	124,79	651,23	2,39	47,04
8	Rize	57,21	18,79	689,79	17119,33	15,28	143,74	108,53	187,11	0,49	11,43
9	Giresun	39,37	34,08	790,72	15989,60	19,04	208,60	57,75	101,82	1,12	16,99
10	Trabzon	80,37	37,30	890,15	18349,25	23,86	265,32	140,28	219,37	0,39	69,32
<b>Ortalama</b>		47,70	26,03	596,21	15068,18	21,20	153,50	83,85	226,20	1,58	28,07
<b>Max-Min Değerler</b>		80,37-17,09	41,08-7,17	890,15-95,12	26095-4333,66	39,33-8,22	265,32-16,97	140,28-25,97	651,23-50,74	8,03-0	69,32-3,04

**Tablo 7.** Literatürdeki bilgilerle mevcut çalışmanın elementel konsantrasyon sonuçlarının kıyaslanması (mg/kg)

Bölgeler	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Yıl	Kaynaklar
Finlandiya	3,36	1,47		357		1,70	5,07	35,9	0,26	9,9	1990	(Harmens vd., 2007)
Finlandiya	1,24	1,06		210		1,38	3,38	27,6	0,12	3,0	2000	(Harmens vd., 2007)
Fransa	2,46	3,16		549		1,94	5,30	32,4	0,20	8,8	1995	(Harmens vd., 2007)
Fransa	2,89	1,69		654		2,30	6,40	40,4	0,20	5,7	2000	(Harmens vd., 2007)
Almanya	2,87	1,83		561		2,38	9,13	50,2	0,31	12,9	1990	(Harmens vd., 2007)
Almanya	1,06	0,91		343		1,13	7,14	41,0	0,21	4,6	2000	(Harmens vd., 2007)
Romanya	12,53	10,85		5114		8,41	18,42	69,1	1,02	35,1	1990	(Harmens vd., 2007)
Romanya	7,99	8,46		2518		3,35	21,56	79,6	0,46	14,4	2000	(Harmens vd., 2007)
Sarp-Samsun otoyolu		52,2	790,5	40090	11,6	17,2	267,5	175,5	0	39,1	2006	(Koz vd., 2008)
Sarp-Giresun Otoyolu	27,00	18,19	333,58	5413,12	8,21	55,45	42,46	101,15	0,36	23,26	2017	Mevcut çalışma

## Rüzgâr Enerji Santrali Değerlemede Geleneksel Değerleme Yöntemi ile Monte Carlo Simülasyonu'nun Karşılaştırılması

Duygu BIYIKLI<sup>\*1</sup>, Faik Ahmet SESLİ<sup>2</sup>, Pelin KASAP<sup>3</sup>

### Öz

Günümüzde büyük bütçeli yatırımların değerlendirilmesinde, geleneksel değerlendirme yöntemlerinden İndirgenmiş Nakit Akışları (İNA)'na göre hesaplanan Net Bugünkü Değer (NBD), hem literatürde ki akademik çalışmalarda hem de yatırım değerlendirme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bir süredir yatırım değerlemede simülasyonlara, hesaplama kolaylığı ve daha dinamik bir çalışma prensibine sahip olmaları açısından oldukça fazla rastlanmaktadır. Monte Carlo Simülasyonu (MCS), simülasyon uygulamalarında en sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. MCS'yi diğer değerlendirme yöntemlerinden ayıran en önemli özelliği, çalışmaya konu olan parametrelerin direkt değerlerinin kullanılması yerine her birine belirli bir aralıkta ve türde olasılık dağılımının tanımlanması ve optimal sonuca göre değil sistemin davranışını anlamaya yönelik olmasıdır. Bu çalışma da 2021 yılı Haziran ayında yatırıma başlanıldığı düşünülen ve proje parametrelerinin bu yılda hazırlanan ön fizibilite raporları ve piyasa verilerine göre öngörülerek belirlendiği, Sinop İlinde 5 MW elektrik üretim kapasiteli %35 rüzgâr kapasite faktörüne sahip bir Rüzgâr Enerji Santrali (RES) değerlendirilmiştir. Bu RES'in hem geleneksel yöntemlerden NBD ile hem de Crystal Ball programı kullanılarak MCS ile değerlendirilmesi yapılmış olup, iki yöntem arasında ki sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Net Bugünkü Değer (NBD), Monte Carlo Simülasyonu (MCS), Crystal Ball, Rüzgâr Enerji Santrali (RES).

## Comparison of Traditional Valuation Method and Monte Carlo Simulation in Wind Power Plant Valuation

### Abstract

Today, Net Present Value (NPV), which is calculated according to Discounted Cash Flows (DNA), which is one of the traditional valuation methods, is frequently used in the valuation of large-budget investments, both in academic studies in the literature and in investment valuation applications. Simulations, which have been used in investment valuation applications for a while, are quite common in terms of ease of calculation and having a more dynamic working principle. Monte Carlo Simulation (MCS) is one of the most frequently used methods in simulation applications. The most important feature that distinguishes MCS from other valuation methods is that instead of using the direct values of the parameters that are the subject of the study, the probability distribution is defined for each in a certain range and type, and it is aimed at understanding the behavior of the system, not according to the optimal result. In this study, a Wind Power Plant (RES) with a 5 MW electricity generation capacity and a wind capacity factor of 35% in the province of Sinop, which is thought to have started the investment market data prepared this year, was evaluated. This RES was evaluated both with NBD, which is one of the traditional methods, and with MCS using the Crystal Ball program, and the results between the two methods were evaluated by comparing them with each other.

**Keywords:** Net Present Value (NPV), Monte Carlo Simulation (MCS), Crystal Ball, Wind Power Plant (WPP).

<sup>1</sup>\*Kastamonu Üniversitesi, İhsangazi Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kastamonu, Türkiye, dbiyikli@kastamonu.edu.tr

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, fasesli@omu.edu.tr

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Samsun, Türkiye, pelin.kasap@omu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0220-5101> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8352-734X> <sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1106-710X>

## 1. Giriş

Yatırımcılar, gelecekte kârlı bir kazanç sağlayabileceklerini düşündükleri çok sayıda proje alternatifi içerisinde en uygun olanı seçmek zorundadırlar. Piyasalardaki değişimler, yatırımın kârlılık durumunu da doğrudan etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Bu durum da yatırım projelerinin seçiminde, ekonomik ömür süresince nakit akıflardan elde edilecek kârın hesaplanmasında, piyasa değerlendirmesinin yanı sıra gelecekteki koşullarda düşünülerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Karar verilen yatırım projelerinin değerlendirilme sürecinin başarısı ise, kullanılan parametre değerlerinin ve seçilen yöntemin doğruluğuna bağlıdır (Broyles, 2003).

Yatırım değerlendirmesinin temel amacı elde edilen kârın hesaplanması ve sonuca göre değerlendirilmesidir. Söz konusu fayda NBD olarak adlandırılmakta ve risk dahil olmak üzere yatırımcıların yapmış oldukları yatırımlardan elde edilen ekonomik kazancı göstermektedir. Değerleme işlemleri geleneksel değerlendirme yöntemleri içinden en yaygın olarak kullanılan İndirgenmiş Nakit Akıfları (İNA) ile hesaplanan NBD hesabı üzerinden yapılmaktadır (Arıcı, 2003; Cheah ve Garvin, 2009; Graham ve Harvey, 2001; Jog ve Srivastava, 1995; Samis, 2003). Bu yöntemle göre ekonomik ömür boyunca hesaplanan nakit akıfların belirlenen sabit bir iskonto üzerinden indirilmesiyle elde edilen bugünkü değerin, yatırımın toplam maliyetinden çıkartılmasıyla hesaplamalar yapılmaktadır. Elde edilen proje değeri pozitif ise yatırım projesi kârlı ve uygulanabilir durumda görülür. Durum tam tersi negatif sonuçlanırsa, projenin uygulanması uygun görülmemektedir (Guj, 2006).

Monte Carlo simülasyonu ile kesin veya öngörülen değerlerle belirlenen deterministik girdi parametrelerini kullanarak sonuç ürün olarak stokastik bir model elde edilmektedir. MCS'nin proje değerlendirme de en yaygın kullanıldığı alan projeye ait NBD'nin hesaplanması ve sonrasında proje parametreleri yani girdi parametrelerinin NBD'yi nasıl ve hangi sırayla etkilediklerinin sonuçlarının elde edilmesidir (Kodukula and Papudesu, 2006).

Monte Carlo Simülasyonu ileriye yönelik hesaplama yapılacak durumlar için kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlardan biri de hesaplama öncesi formülize edilecek verilerin yakın geçmişten seçilmesi gerekliliğidir (Brabzan ve O'Neill, 2009). Belirsiz ve kesinliği tam olarak bilinmeyen durumların hesaplanmasında olasılık tahmini dayalı hesaplama yapmasından kaynaklı çok geçmiş verilerin doğruluğu sağlamayacağı da bir başka durumdur. Simülasyon, adını şans oyunları ile da bilinen Monte Carlo şehrinden almaktadır. Monte Carlo Simülasyonunun en önemli yanı şans faktörünü sürece dahil etmesi ve rastgele bileşenlere sahipse uygulanabilmesidir (Schwartz ve Trigeorgis, 2004). Eğer rastgele bir bileşen varsa, belirsizlikleri göz önünde bulundurarak olasılık dahilinde tahmin yürüterek sonuca ulaşmak daha kolay ve uygun olmaktadır. Simülasyon yöntemleri

geniş bir alana sahip olsa dahi Monte Carlo Simülasyonu olasılık analizleri içinde analitik denklem çözümlerini en dinamik ve kolay şekilde çözüme ulaştıran yöntem olarak bilinmektedir (Mun, 2006).

Monte Carlo Simülasyonu literatürde ve uygulamalarda farklı çözümlenme yöntemleri ile karşımıza çıkmaktadır. MS Excel tabanlı Crystal Ball ya da Matlab gibi hazır paket programlar ile formülize edilerek uygulamaların yapılması sıklıkla tercih edilen çözümler arasında yer almaktadır (Simkins ve Kemper, 2013). Crystal Ball paket programlar içerisinde ve değerlendirme alanında gerçeğe yakın sonuç vermesi ile bilinmekte ve kullanıcılar tarafından analizlerde tercih edilmektedir. Analitik çözümlenme yapan ve sabit parametre değerleriyle hesaplama yapan geleneksel yöntemlerden farklı olarak, her parametreye ayrı olasılık dağılımı tanımlanması ve kullanıcının istenilen deneme sayısı ile simülasyonu çalıştırarak farklı döngüler sonucunda istenilen değeri elde etmesi ile daha dinamik ve kolay çözüme ulaşılabilmektedir (Bendob ve Bentouir, 2019). Burada dikkat edilmesi gereken durumlardan ilki geleneksel yöntemle hesaplama yapılan İNA ve NBD formüllerinin, aynı adım sırası ile MS Excel uzantılı olan Crystal Ball programına tanımlanmasıdır. Sonra ki aşama yatırım değerlemesinde kullanılan proje parametrelerinin ve sonuç ürünlerin girdi ve çıktı parametreleri olarak tanımlanarak, girdi parametrelerinin her birine, parametre türüne ve özelliğine göre olasılık dağılımlarının seçilerek uygulama için hazır hale getirilmesidir. Crystal Ball programında girdi parametresi olarak tanımlanan her değer, istenilen sonuç ürünün işlem adımlarında kullanılmalıdır. Kullanıcıyı sonuç ürün kısmında özgür bırakan program, MS Excel de formülize edilebilen her denklem için uygulanabilir olmakla avantajlı bir durum da elde etmektedir. Program simülasyon sonrası kullanıcıya sadece sayısal sonuç vermekle yetinmeyip duyarlılık analizi, tornado grafiği gibi önemli istatistik analizler de sunarak, yatırımcının ilerleyen süreçlerde ki hangi parametre değerlerine dikkat etmesi gerektiği ya da yatırımın en çok hangi durumdan etkilenebileceği gibi sorularına da cevap vermektedir.

Bu araştırma makalesinde, Sinop İlinde 5 MW enerji üretebilen ve %35 rüzgâr kapasiteli bir RES için geleneksel değerlendirme yöntemlerinden İNA yöntemi ile Bugünkü Değer ve NBD hesaplanmış olup, aynı proje değerlerinin Crsytal Ball programı ile simüle edilmesi ile yine aynı sonuç ürünlerin değerleri elde edilmiştir. MCS'nin geleneksel yöntemle aynı hesaplama işlem adımlarına sahip olmasına rağmen farklı prensiple çalışması, yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın amacı her iki yöntemle elde edilen sonuç değerlerin karşılaştırılarak, daha dinamik çalışma prensibine sahip olan MCS'nin geleneksel yöntemlerin yerine kullanılıp kullanılmayacağını araştırılması olmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın bu bölümünde hem geleneksel yöntem ile hem de MCS ile değerlemesi yapılacak olan Sinop İlindeki RES yatırımının parametre değerleri ve bu değerlerin yöntemler içinde ki uygulanma şekilleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir. Geleneksel yöntem analitik çözümlene ile yatırımcıya istenilen proje değerini sunarken, Crystal Ball programı NBD hesabında ki aynı işlem adımlarını programa tanıtarak, kullanıcının belirlediği deneme ya da döngü sayısı boyunca farklı olasılıklarla değerlendirerek kullanıcıya sunmaktadır. Bu anlamda simülasyon ile bir yatırımı değerlemek analitik yöntemlere göre daha dinamik ve çözüme daha kolay ulaşılabilir gözükmektedir. Aşağıda ki bölümlerde yukarıda açıklaması yapılan yöntemler ile Bugünkü Değer ve NBD için elde değerler karşılaştırılmıştır. Bugünkü Değer, ekonomik ömür boyunca her yıl için hesaplanan net nakit akımların, iskonto oranınca indirgenen değerlerinin toplamı iken, NBD elde edilen Bugünkü Değerlerin proje maliyetinden çıkartılmasıyla elde edilen proje değerini ifade etmektedir.

### 2.1. Net Bugünkü Değer Yöntemine göre Değerleme

Proje değerlemesinin ilk aşaması proje parametrelerinin belirlenmesi ile başlamaktadır. Hem geleneksel yöntem ile hem de MCS ile Bugünkü Değer ve NBD elde ederken kullanılan proje parametreleri aynıdır. RES yatırımı için bilinmesi gerekli en önemli parametre, gelir miktarının ne olacağıdır. Bunun için de birim elektrik fiyatı ve tesisin ne kadar elektrik üreteceğinin bilinmesi gerekmektedir. Gelir miktarı kadar önemli olan bir diğer parametre ise, proje maliyetidir. Proje maliyetinin altında kalan gelir miktarı, yatırımcı için olumsuz durum oluşturmakta iken, tam tersi durumda yatırımcı için kârlı bir durum oluşturmaktadır. Bunların dışında yatırımın ekonomik ömür süresi, nakit akışların indirgeneceği sabit bir iskonto oranı, kurumlar vergisi, enflasyon oranı, yıllık operasyonel giderler gibi proje parametrelerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Araştırma makalesine konu olan RES'in 2021 yılı haziran ayı içerisinde uygulamaya girdiği düşünüldüğünde, birim elektrik fiyatı için Ek-1 sayılı cetvelde yer alan, üretilecek elektriğin 1kWh'nin 7,3 USDcent/kWh teşvik fiyatı üzerinden hesaplama yapılmıştır (YEK Kanunu, 2021). Dolar kuru için de T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın 2020-2022 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi'nin 12. Maddesinde belirttiği ve bizim yatırım yapmaya karar verdiğimiz 2021 yılı için belirlediği sabit kur fiyatı, 1ABD=6.40 TL değeri kullanılmıştır (SBB, 2021). RES'de yıllık üretilmesi beklenen elektrik miktarı, tesisin üretim kapasitesi MW cinsinden, REPA'ya göre belirlenmiş kapatsite faktörü, kWh olarak hesaplama yapılacağı için 24 saat ve gün olarak da yılda 5 gün bakım ve onarım yapılacağı düşünülerek 360 gün ile çarpılarak elde edilmektedir. Bu hesaplamalardan elde edilen yıllık elektrik üretim kapasitesi 12.700.000 kWh olarak bulunmuştur.

Yıllık işletme geliri ise belirlenen üretim kapasitesi üzerinden, elektrik fiyatı ile çarpılarak bulunmaktadır. Buradan proje geliri 5.933.440,00 TL olarak hesaplanmıştır. İndirgenmiş nakit akışları hesaplanırken birim elektrik fiyatı, Ek-1 cetvele göre 1kWh için belirlenen dolar cinsi elektrik fiyatını TL cinsine çevrilmesiyle 0.4672 TL olarak hesaplanmıştır. Vergi Usul Kanunu'nun 333 numaralı tebliğinin 45. Bölümünde bahsi geçen türbinlerle ilgili bölüme istinaden rüzgâr enerji santrallerinin faydalı ekonomik ömürlerinin 15 yıl olduğu belirtilmektedir. Bu bilgi doğrultusunda bu projede ekonomik ömür (T) 15 yıl olarak alınmıştır. Faydalı ömür süresinin T=15 yıl olması ve proje için normal amortisman oranı kullanılacak olmasından dolayı (1/T), bu projede ki amortisman oranı %6.7 olarak hesaplanmıştır. Kurumlar Vergisi (KV) oranı olarak ise, Kurumlar Vergisi Kanunu'na eklenen geçici 13. Madde uyarınca “%20 olan kurumlar vergisi oranı 2021 yılı için %25 oranınca uygulanacaktır” ifadesi üzerine, %25 olarak belirlenmiştir. Projede enflasyon oranı olarak, ticari yatırımlar için tercih edilen Tüketici Fiyat Endeksinin (TÜFE) kullanılması uygun görülmüştür. Bunun için 2007-2021 yılları arasındaki 15 yıllık ve her yılın her ayı için “on iki aylık ortalamalara göre değişim oranı” kullanılarak, en son ortalama değer bulunmuştur. Projede hem gelirlerin hem de operasyonel giderlerin yıllık artış oranı olarak kullanıldığı TÜFE oranı %9,90 olarak hesaplanmıştır. İskonto oranının, fiyatların her yıl artış miktarının göstergesi olan enflasyon oranına yakın bir değer olarak belirlenmesi öngörülerek %10 olmasına karar verilmiştir. Tablo 1’de 2007-2014 yılları, Tablo 2’de 2015-2021 yılları arasındaki Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre hesaplanan TÜFE oranı gösterilmektedir. Tablo 3’te ise yukarıda açıklamaları yapılan proje parametreleri gösterilmektedir.

**Tablo 1.** On iki aylık ortalamalara göre TÜFE oranları-1.

(%)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Ocak</b>	9.76	8.61	10.54	6.16	8.28	6.95	8.62	7.53
<b>Şubat</b>	9.92	8.53	10.41	6.38	7.76	7.48	8.33	7.60
<b>Mart</b>	10.15	8.40	10.29	6.53	7.29	8.02	8.08	7.70
<b>Nisan</b>	10.30	8.33	9.98	6.87	6.79	8.59	7.97	7.97
<b>Mayıs</b>	10.24	8.47	9.49	7.2	6.64	8.68	7.51	8.23
<b>Haziran</b>	10.11	8.64	9.08	7.41	6.47	8.89	7.47	8.31
<b>Temmuz</b>	9.70	9.07	8.52	7.59	6.37	9.11	7.47	8.35
<b>Ağustos</b>	9.46	9.43	7.99	7.83	6.24	9.29	7.42	8.46
<b>Eylül</b>	9.17	9.76	7.52	8.16	6.00	9.53	7.32	8.54
<b>Ekim</b>	8.98	10.12	6.95	8.45	5.93	9.53	7.32	8.65
<b>Kasım</b>	8.86	10.31	6.53	8.59	6.13	9.26	7.39	8.80
<b>Aralık</b>	8.76	10.44	6.25	8.57	6.47	8.89	7.49	8.85
<b>Ortalama Değer</b>	9.62	9.18	8.63	7.48	6.70	8.69	7.70	8.25
$\sum A$						%66,25		

**Tablo 2.** On iki aylık ortalamalara göre TÜFE oranları-2.

(%)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Ocak</b>	8.80	7.87	7.76	11.23	17.16	14.52	12.53
<b>Şubat</b>	8.77	7.97	7.88	11.23	17.93	13.94	12.81

<b>Mart</b>	8.70	7.96	8.21	11.14	18.70	13.33	13.18
<b>Nisan</b>	8.57	7.84	8.66	11.06	19.39	12.56	13.70
<b>Mayıs</b>	8.45	7.71	9.09	11.10	19.91	12.10	14.13
<b>Haziran</b>	8.28	7.74	9.36	11.49	19.88	11.88	14.55
<b>Temmuz</b>	8.07	7.91	9.44	12.00	19.91	11.51	-
<b>Ağustos</b>	7.88	7.98	9.66	12.61	19.52	11.27	-
<b>Eylül</b>	7.80	7.92	9.98	13.75	18.27	11.47	-
<b>Ekim</b>	7.69	7.89	10.37	14.90	16.81	11.74	-
<b>Kasım</b>	7.61	7.79	10.87	15.63	15.87	12.04	-
<b>Aralık</b>	7.67	7.78	11.14	16.33	15.18	12.28	-
<b>Ortalama Değer</b>	8.19	7.86	9.37	12.71	18.21	12.39	13.48
$\sum B$					%82,21		
<b>Ortalama (A+B) /2</b>					<b>%9,90</b>		

**Tablo 3.** Proje parametreleri (NBD).

Proje Parametreleri	
Proje Maliyeti	5.833.482 USD=37.334.284,80TL
Projenin Yıllık Gelir Miktarı	5.933.440 TL=12.700.000kWh×0.073USD×6.40TL/USD
Ekonomik Ömrü	15 yıl
Kurulu Gücü	4199.73545 MW (12.700.000 kWh= 4199.7354MW*0.35*(360 gün*24 saat))
AOSM	%10
Türbin Sayısı	2
Operasyonel Gider	182.061 USD=1.165.190,40 TL
Birim Elektrik Fiyatı (TL/ kWh)	0.4672 kuruş=0.073*6.40TL
Amortisman Değeri	2.488.952,32 TL=37.334.284,80/15 yıl
Kurumlar Vergisi (KV)	%25=0.25
TÜFE	%9,90=0.099

Tablo 3'te ki proje parametrelerine göre hesaplanan NBD için kullanılacak denklem (1) aşağıda gösterildiği gibidir (Bilir, 2012).

$$A = \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i}{(1+r)^i} \right) - C \quad (1)$$

$A$ , nakit girişlerinin şimdiki değeri toplamını;  $A_i$ , yatırımdan sağlanacak net nakit akımları;  $C$ , başlangıçtaki yatırımı;  $r$ , iskonto oranını;  $i$ , yılı ifade etmektedir.

## 2.2. Crystal Ball ile Monte Carlo Simülasyonu Yöntemine göre Değerleme

Crystal Ball, MS Excel'de ayrı bir eklenti olarak çalışan ve her türlü formülize edilebilen denklemlerin, kullanıcının belirlediği deneme sayısında istenilen sonuç ürünleri simüle ederek değer elde eden bir programdır. Geleneksel yöntemle aynı işlem adımlarına sahip olarak formülize edilse dahi, parametrelerin sabit bir değer yerine olasılık dağılımı ile ifade edilmesi ve yine tek bir sonuç ürün yerine döngü sonrası deneme sayısı boyunca belirli aralıklarda hesaplanan değerlerin



ortalamaları kullanılarak değer elde edilmesi ile çok farklı bir çalışma prensibine sahiptir. Burada dikkat edilmesi gereken hususların başında proje parametrelerine tanımlanan olasılık dağılımlarının seçimidir. Seçimlerde literatürden yararlanmak bir çözüm olabilirken, deneme yöntemiyle de doğru seçim yapılabilir. En yaygın kullanılan olasılık dağılımları normal, lognormal, düzgün ve üçgen dağılımdır (Malesevic, 2017). Yatırımlarla ilgili yapılan çalışmalarda fiyat bilgisi içeren parametreler için genellikle üçgen ve normal dağılım seçildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada her ikisi içinde deneme yapılmış ve ileriki bölüm de gösterilecek olan duyarlılık analizi ile de bu durum denetlenmiştir. Üçgen dağılımın bu parametreler üzerinde ki etkisinin olması gerektiği şekilde sonuç vermediği gözlemlenerek normal dağılım üzerinden yeni bir deneme daha yapılmıştır. Bu deneme sonucu duyarlılık analizi ile de desteklendiğinde gerçeğe çok daha yakın bir durum elde edilmiş ve normal dağılım seçiminin kullanılmasına karar verilmiştir. Normal dağılım, sürekli bir dağılım olmakla birlikte enflasyon oranı, kişilerin boy, kilo ya da ölçümlerde ki hatalar gibi doğal olayları açıklayan bir dağılımdır (Mun, 2006). Yatırım projesinde ki dolar kuru, birim elektrik satış fiyatı ve kurumlar vergisi parametreleri sabit değerler olarak seçildikleri için bu parametrelere düzgün dağılım tanımlanmıştır. Düzgün dağılım da minimum ile maksimum arasında ki tüm değerlerin oluşma şansı aynıdır (Mun, 2006). Bunların haricinde ki diğer tüm parametreler için normal dağılım tanımlanarak seçimler tamamlanmıştır. Tablo 4'te Crystal Ball ile yapılacak simülasyon için tanımlanan girdi parametreleri ve bunlara ait seçilen olasılık dağılımları ile simülasyon sonrası elde edilmek istenilen çıktı parametreleri gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Girdi ve Çıktı parametreleri.

Girdi Parametreleri	Değer	Olasılık Dağılımı
Ünite Gücü	5000 kW	Normal
Elektrik Satış Fiyatı	0.073 USD/cent	Düzgün
Dolar Kuru	6.40 TL	Düzgün
Kapasite Kullanım Oranı	%35	Normal
Operasyonel Giderler	1.958.400 TL	Normal
İlk Yatırım Maliyet	70.400.000 TL	Normal
Amortisman Süresi	15 yıl	Normal
Enflasyon Oranı	%9.90	Normal
Kurumlar Vergisi	%25	Düzgün
İskonto Oranı	%10	Normal
<b>Çıktı Parametreleri</b>		
NBD (Net Bugünkü Değer)		
Bugünkü Değer		

Olasılık dağılımlarının seçimi belirlendikten sonra, geleneksel yöntemle hesaplamalarda kullanılan işlem adımları Crystal Ball uzantılı MS Excel'de tanımlanmış ve proje parametreleri girdi parametresi, Bugünkü Değer ve NBD de çıktı parametresi olarak tanımlanmıştır. Crystal Ball programı arka ara yüzde her parametre için %5 alt ve üst sınır değeri belirleyerek bu değer

aralıklarında istenilen deneme sayısında döngüyü tamamlamaktadır. Bunun nedeni simülasyon başladığında her parametre değeri için sınırsız değer aralığında döngünün sürdürülmemesidir. Alt-üst sınırlar tanımlanmadığında çıktı parametrelere ait istenilen ortalama değerler gerçeğe yakın sonuçlar vermemektedir. Tablo 5'te girdi parametrelerine ait alt-üst değerler gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Girdi parametrelerine ait alt-üst değerler

	<b>Alt Sınır(%5)</b>	<b>Değer</b>	<b>Üst Sınır(%95)</b>
<b>Ünite Gücü</b>	3989.748678 kW	4199.73545 kW	4409.722223 kW
<b>Elektrik Satış Fiyatı</b>	0.073 USD/Cent	0.073 USD/Cent	0.073 USD/Cent
<b>Dolar Kuru</b>	6.40 TL	6.40 TL	6.40 TL
<b>Kapasite Kullanım Oranı</b>	%33.25	%35	%36.75
<b>Operasyonel Giderler</b>	1.106.930,88 TL	1.165.190,40 TL	1.223.449,92 TL
<b>İlk Yatırım Maliyeti</b>	35.467.570,56 TL	37.334.284,80 TL	39.200.999,04 TL
<b>Amortisman Süresi</b>	14.25 Yıl	15 Yıl	15.75 Yıl
<b>Enflasyon Oranı</b>	%9.405	%9.9	%10.395
<b>Kurumlar Vergisi</b>	%25	%25	%25
<b>İskonto Oranı</b>	%9.5	%10	%10.5

### 3. Bulgular ve Tartışma

Geleneksel yöntemle Bugünkü Değer ve NBD için Tablo 6'da İNA, Tablo 7'de de NBD olmak üzere, yapılan hesaplamalar gösterilmektedir. RES yatırımı için Bugünkü Değer 53.189.870,29 TL olurken, bu değerden yatırım maliyetinin çıkartılmasıyla elde edilen ve proje değerini ifade eden NBD 15.855.585,49 TL olarak hesaplanmıştır.

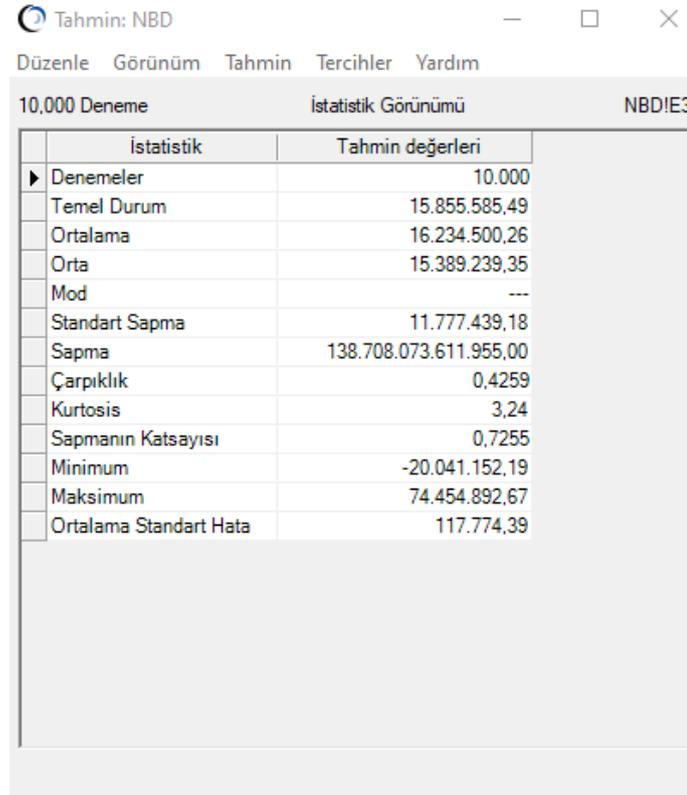
**Tablo 6.** İndirgenmiş Nakit Akışları (İNA) analizi.

	1.Yıl	2.Yıl	3.yıl	4.yıl	5.yıl	6.yıl	7.yıl	8.yıl	9.yıl	10.yıl	11.yıl	12.yıl	13.yıl	14.yıl	15.yıl
Üretim Miktarı(kWh)	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000	12.700.000
Birim Fiyat/TL	0.4672	0.5135	0.5643	0.6201	0.6815	0.7490	0.8232	0.9047	0.9942	1.0927	1.2008	1.3197	1.4504	1.5939	1.7517
Gelir/TL	5.933.440	6.520.850	7.166.414	7.875.889	8.655.602	9.512.507	10.454.245	11.489.216	12.626.648	13.876.686	15.250.478	16.760.276	18.419.543	20.243.078	22.247.143
Giderler/TL	1.165.190	1.280.544	1.407.318	1.546.642	1.699.760	1.868.036	2.052.972	2.256.216	2.479.581	2.725.060	2.994.841	3.291.330	3.617.172	3.975.272	4.368.824
Fvök/TL	4.768.249	5.240.306	5.759.096	6.329.247	6.955.842	7.644.471	8.401.273	9.232.999	10.147.067	11.151.624	12.255.637	13.468.946	14.802.371	16.267.806	17.878.319
Amortisman (-)/TL	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952	2.488.952
Fvök/TL	2.279.298	2.751.354	3.270.144	3.840.295	4.466.890	5.155.525	5.912.321	6.744.047	7.658.115	8.662.674	9.766.685	10.979.723	12.313.389	13.778.806	15.389.366
Vergi %25/TL	569.824	687.835	817.536	960.073	1.116.722	1.288.879	1.478.080	1.686.011	1.914.528	2.165.668	2.441.671	2.744.931	3.078.354	3.444.713	3.847.341
Net Faaliyet Kârı/TL	1.709.472	2.063.519	2.452.608	2.880.216	3.350.125	3.866.609	4.434.291	5.058.036	5.743.539	6.497.016	7.325.016	8.234.915	9.235.017	10.334.034	11.542.027



Geleneksel yöntemle elde edilen Bugünkü Değer ve NBD sonrasında aynı uygulama MCS ile de yapılmıştır. Bugünkü Değer ve NBD için ayrı ayrı uygulama yapılmış olup bunun nedeni olarak ta her ne kadar girdi parametreleri aynı olsada çıktı parametrelerinde formül farklılığının olmasıdır. Bugünkü Değer hesaplamasında, NBD hesabının son adımında ki Bugünkü Değerlerin toplamının yatırım maliyetinden çıkarılması işlem adımının olmaması, uygulamayı iki farklı değerlendirme yapmak üzere ayırmıştır.

İlk olarak NBD için Crystal Ball programı ile MCS sonucunda elde edilecek proje değeri bulunmuştur. 10.000 deneme sayısı ile tamamlanan, simülasyon sonrası Şekil 1’de NBD için elde edilen istatistik değerler ve ortalama NBD gösterilmektedir.

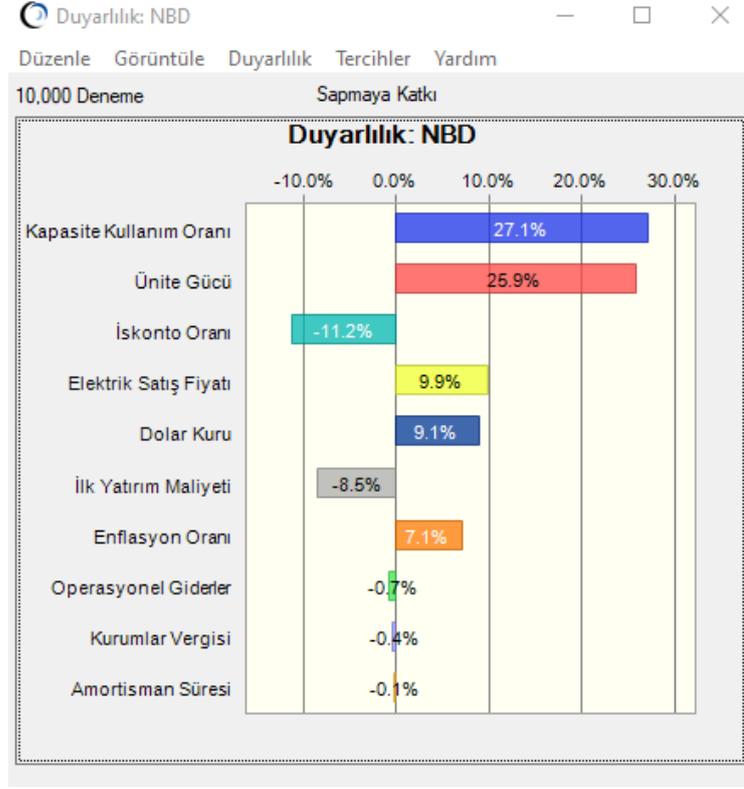


İstatistik	Tahmin değerleri
Denemeler	10.000
Temel Durum	15.855.585,49
Ortalama	16.234.500,26
Orta	15.389.239,35
Mod	---
Standart Sapma	11.777.439,18
Sapma	138.708.073.611.955,00
Çarpıklık	0,4259
Kurtosis	3,24
Sapmanın Katsayısı	0,7255
Minimum	-20.041.152,19
Maksimum	74.454.892,67
Ortalama Standart Hata	117.774,39

Şekil 1. NBD için istatistik değerler.

Şekil 1’e bakıldığında simülasyon öncesi analitik yöntemle ve sabit proje parametreleriyle hesaplanan NBD’nin 15,855,585.49 TL hesaplandığı görülürken, 10.000 denemeli simülasyon sonrası 16,234,500.26 TL olarak hesaplandığı görülmektedir. Birbirlerine yakın ve benzer sonuç vermeleri, MCS’nin geleneksel değerlendirme yöntemleri yerine kullanılabileceği sonucunu da vermektedir. Yatırımcı için projenin ekonomik ömrü boyunca yatırım üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğu ya da hangi parametrenin değişiminden NBD’nin daha çok etkileneceğini bilmek önemli bir durumdur. Crystal Ball programı duyarlılık

analizi ile sonuç ürünler üzerinde, girdi parametrelerinin etki oranlarını sırasıyla sunmaktadır. Şekil 2’de NBD’e ait duyarlılık analizi gösterilmektedir.

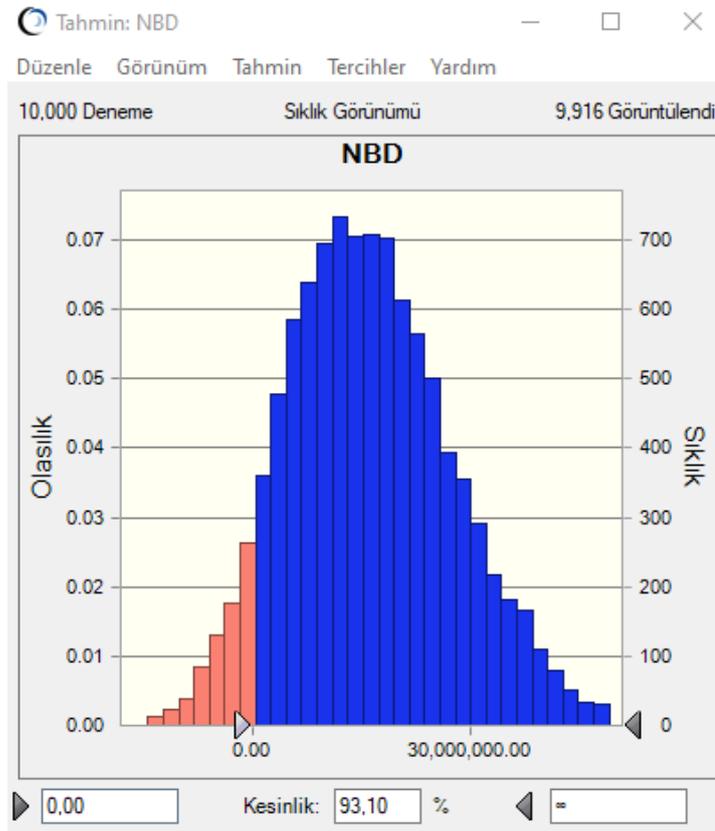


Şekil 2. NBD için duyarlılık analizi.

Şekil 2’de 0 çizgisinin sağ ve solu pozitif ve negatif etki oranlarını ifade etmektedir. Bu duruma göre NBD üzerinde en çok etkisi olan 2 parametrenin pozitif yönlü olarak Kapasite Kullanım Oranı ve Ünite Gücü olduğu görülmektedir. Her ikisinde meydana gelecek artış NBD’yi olumlu etkileyerek, değerin artmasını sağlayacaktır. Daha sonra gelen en etkili parametrenin negatif yönlü olarak iskonto oranı olduğu görülmektedir. İskonto oranı nakit akışlar üzerinde reel indirgeme oranı olarak kullanıldığı için, oranın artması nakit akışların azalması dolayısıyla da NBD’nin azalmasına neden olacaktır. Elektrik satış fiyatı ve dolar kuru takip eden sırada pozitif yönlü bir etki oluştururken ilk yatırım maliyetinin tersi yönde etki ettiği görülmektedir. Maliyetin artması karın azalmasını direk olarak etkilemektedir. Gelir ve maliyetlerin üzerinde yıllık artış oranı olarak kullanılan enflasyon oranı ise etki oranı olarak alt sıralarda olsa dahi NBD üzerinde pozitif yönlü bir etkiye sahiptir. Bunların dışında yıllık operasyonel gider, kurumlar vergisi ve amortisman süresi negatif yönlü olsalar bile etki oranlarının oldukça az oldukları görülmektedir. Duyarlılık analizinden elde edilen verilere göre

yatırımcı bu piyasa koşullarında hangi parametrelerin, değişiminden ne yönlü ve yatırımının hangi koşullar değiştiğinde olumlu ya da olumsuz etkileneceğini bilecektir.

Yatırım projesinin başlaması için NBD'nin 0 dan büyük bir değer olarak pozitif sonuç vermesi gerekmektedir. MCS ile hesaplanan NBD'nin 10.000 denemeli ve parametreler için belirlenen alt-üst sınır aralıkları içerisinde 0'dan büyük olma yüzdeliğini de Crystal Ball programı kullanıcılara sunmaktadır. Şekil 3'te NBD'nin 0'dan büyük bir değer alma yüzdeliği grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 4'te ise yüzdelik olarak 0 ve 100 arasında NBD'nin alabileceği değerler gösterilmektedir. Burada proje değeri olasılıklar dahilinde maksimum ve minimum hangi değerleri alabilirdi sorusuna da cevap alınabilmektedir.



Şekil 3. NBD'nin 0'dan büyük olma olasılığı.

Tahmin: NBD

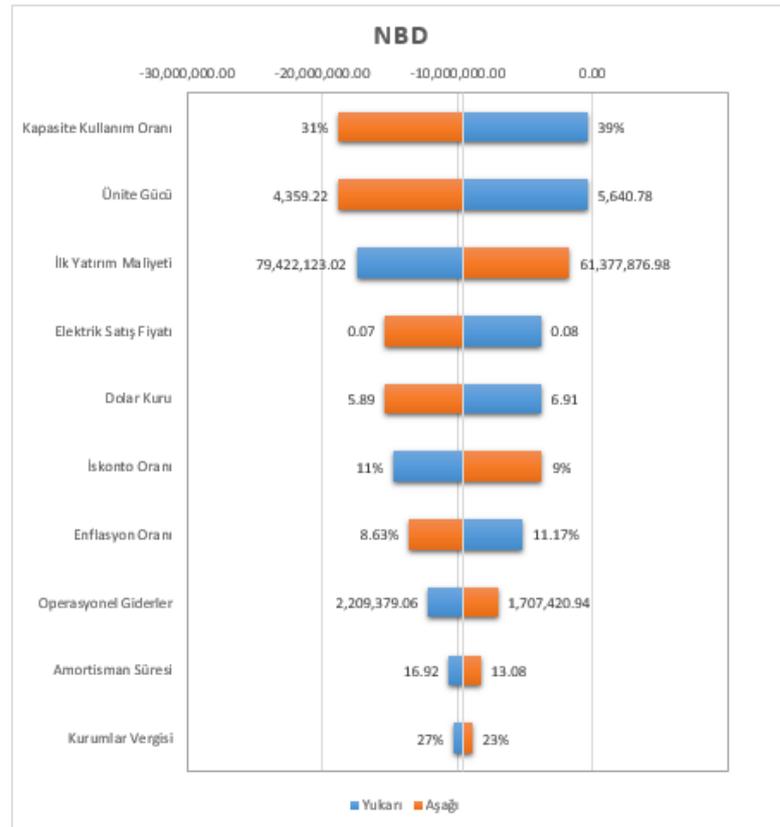
Düzenle Görünüm Tahmin Tercihler Yardım

10,000 Deneme Yüzde Birlik Görünümü NBDIE3

Yüzde Birlik	Tahmin değerleri
%0	-20.041.152,19
%10	1.910.212,83
%20	6.114.712,94
%30	9.394.138,76
%40	12.472.366,29
%50	15.388.858,54
%60	18.346.214,10
%70	21.754.743,28
%80	25.767.851,14
%90	31.810.157,48
%100	74.454.892,67

Şekil 4. NBD'nin yüzdelerik değerleri.

Duyarlılık analizi parametrelerin NBD üzerindeki etkilerini gösterirken, Şekil 5'de gösterilen Tornado grafiği de NBD'nin parametreler üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 5. Tornado grafiği (1).



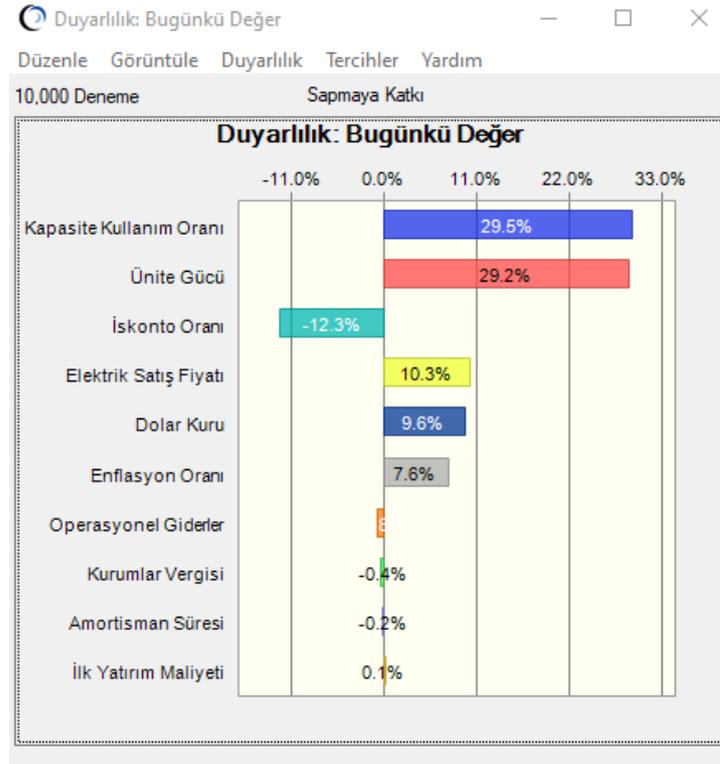
Grafiğin tam orta noktası projenin temel NBD değerini ifade etmektedir. Yukarı yönlü hareket grafiğin sağ tarafında kalıyorsa pozitif yönlü etki ettiği, sol tarafta kalıyorsa da negatif yönlü etki ettiği sonucuna varılmaktadır. Tornado grafiğinde ki parametrelerin NBD üzerinde ki etki sıralaması, duyarlılık analizi ile aynıdır. Tornado grafiği duyarlılık analizinden farklı olarak her parametrenin NBD için alabileceği aşağı-yukarı yönlü değerleri kendi içerisinde vermektedir. Şekil 5'e bakıldığında kapasite kullanım oranının maksimum%39 minimum da %31 değer alabileceği görülmektedir.

İkinci değerlendirme Bugünkü Değer için yapılmıştır. Geleneksel yöntemle elde edilen Bugünkü Değer 53.189.870,29 TL iken, 10.000 denemeli simülasyon sonrasında 53.554.546,01 TL değerini almıştır. Bugünkü Değer için sonuçların benzer olması MCS'nin yatırım projeleri değerlemesinde kullanılabilirliğinin uygun olduğu sonucunu da bizlere vermektedir. Şekil 6'da simülasyon sonrası, istatistik değerler tablosunda ortalama değer gösterilmektedir.

İstatistik	Tahmin değerleri
► Denemeler	10.000
Temel Durum	53.189.870,29
Ortalama	53.554.546,01
Orta	52.708.821,56
Mod	---
Standart Sapma	11.304.636,70
Sapma	127.794.810.929.642,00
Çarpıklık	0,4931
Kurtosis	3,36
Sapmanın Katsayısı	0,2111
Minimum	22.665.804,29
Maksimum	109.712.578,30
Ortalama Standart Hata	113.046,37

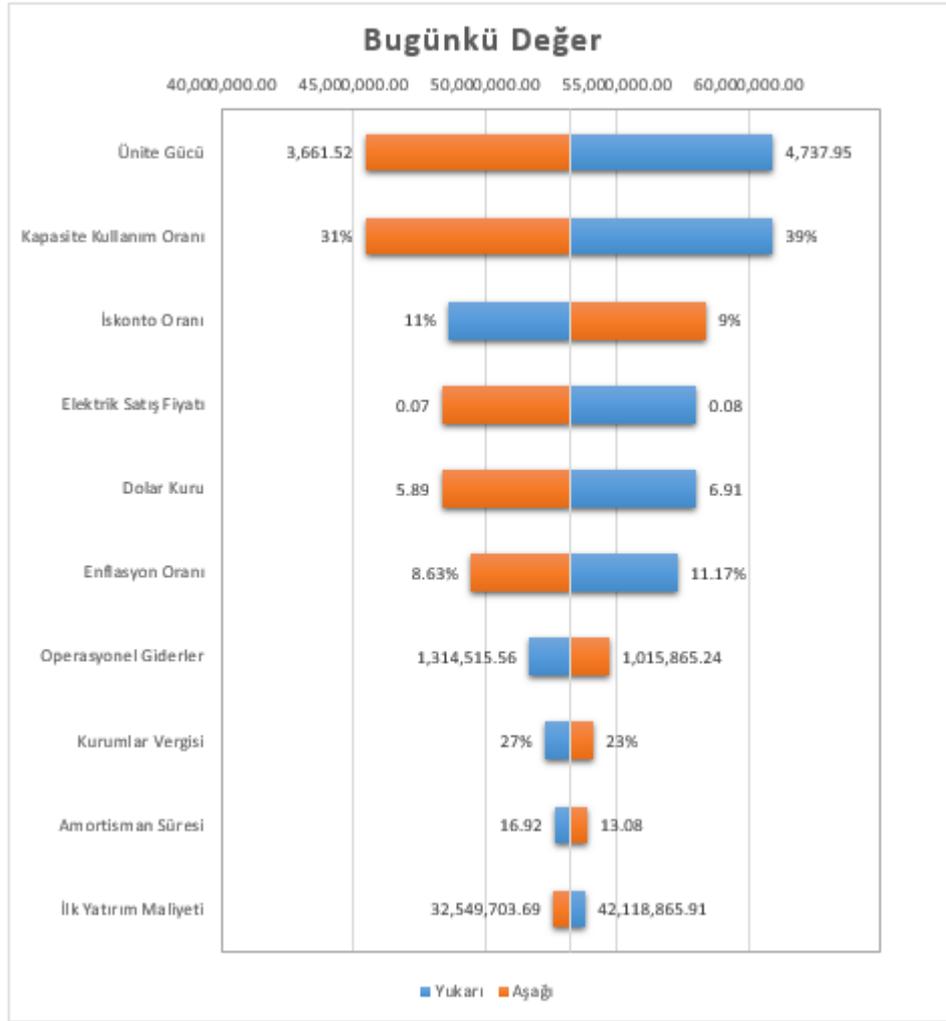
Şekil 6. Bugünkü Değer için istatistik değerler.

Şekil 7'de duyarlılık analizi ile Bugünkü Değere en fazla etki eden proje parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 7. Bugünkü Değer için duyarlılık analizi.

Bugünkü Değere ait duyarlılık analizinde ki parametrelerin etki oranları ve sıralaması NBD ile hemen hemen aynı iken, ilk yatırım maliyetinin NBD ile farklı oran ve sıralamaya sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak ta NBD ile son işlem adımındaki ilk yatırım maliyetinin Bugünkü Değerlerin toplamından çıkartılması adımının olmamasıdır. İlk yatırım maliyetinin NBD için önemli bir rolü varken, Bugünkü Değer için sadece amortisman hesabında kullanılması nedeniyle etki oranı en alt sırada çıkmıştır. Duyarlılık analizinde, NBD ve Bugünkü Değer için aynı girdi parametreleri ve onlara ait aynı olasılık dağılımlarını kullanılmış olsa dahi işlem adımlarının farklılığı etki oranlarının direk olarak değiştirebileceğini göstermiştir. Şekil 8'de ki Tornado Grafiği ile Bugünkü Değerin parametrelerin üzerinde ki etkisini ve parametrelerin minimum, maksimum alabilecekleri değerler gösterilmektedir.



Şekil 8. Tornado grafiği (2).

Bu çalışmada olduğu gibi RES yatırımlarında sabit değerlerle ve gelecekte çok bugünün şartlarını göz önünde bulundurarak hesaplama yapan geleneksel değerlendirme yöntemi yerine, gelecekteki risk ve belirsizlikleri olasılıklar dahilinde ele alan ve çözümleyen MCS ile değerlendirme yapılmasının önemini ve dikkatini vurgulayan literatürdeki bazı çalışmalar Tablo 8'de gösterilmektedir. Bu çalışmalardan bazıları geleneksel yöntemin analitik bir çözüm yoluyla ve gelecekteki risk ve belirsizlikleri sabit bir iskonto üzerinden değerlendirmesini olumsuz bir durum olarak görerek MCS ile analiz yapmayı tercih etmiş, bazıları da hem NBD hem de opsiyon değerini MCS ile hesaplayarak Genişletilmiş NBD elde etmişlerdir. Tablo 8'de RES yatırımları için bu iki uygulamayı tercihen ederek MCS ile analizler yapan çalışmalar gösterilmektedir. Bu araştırma makalesinde geleneksel yöntem ile MCS ile hesaplanan NBD ve Bugünkü Değer karşılaştırılması yapılarak, MCS'nin geleneksel yöntem yerine tercih edilmesi üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Tablo'da bu duruma benzer olarak yapılmış çalışmalardan örneğin Barraso ve Iniesta (2014), Almanya'da ki bir RES için yaptıkları

çalışmada NBD ve proje parametrelerinin belirsizlik durumlarına karşın değerlerini MCS ile hesaplamışlardır. NBD'nin MCS ile hesaplanmasının fazla sayıda deneme sayısı ve parametrelerin gelecekte ki bilinmezliklere karşı modellenmesi ile geleneksel yöntemlere göre daha olumlu sonuçlar vereceğini düşünmüşlerdir. NBD hesaplamak için MCS ile 20.000 deneme sayısı ile döngü başlatılmış ve istenilen sonuç ürünlerin ortalamaları elde edilmiştir. NBD'nin hesaplanabilmesi için gerekli olan proje ya da girdi parametrelerinin öngörülen değerlerini kullanmak yerine farkı senaryolarda MCS ile rasgele değerler elde edilerek işlemlere devam edilmiştir. Bu durum projenin iyi, olası ve kötü senaryolarda ki alabileceği değerleri yatırımcıya göstererek karar verme sürecine yardımcı olmaktadır. Deneme sayısının artırılması ortalama NBD'nin doğruluğunu da arttırmaktadır. Geleneksel yöntem yerine simülasyon tercih edilmesinin bir diğer nedeni olarak hem yukarı da açıklanan sebepler hem de daha dinamik, kolay sonuca ulaşma ve daha yüksek doğruluk elde etmek olarak gösterilebilir. Yine Barraso ve Iniesta (2015), Danimarka'da bir RES'in proje değerini hesaplamak için MCS ile çalışmayı tercih etmişlerdir. Almanya'da yaptıkları çalışmaya benzer olarak, elektrik fiyatı gibi yüksek belirsizliğe sahip proje parametrelerinin volatilitesi ile proje değeri olan NBD'yi MCS ile hesaplamışlardır. RES gibi büyük bütçeli yatırımların gelecekte nasıl etkilenecekleri proje için büyük bir belirsizlik olarak görülmektedir. Bu durumda yatırım değerlemesinde farklı senaryolarla MCS ile NBD hesaplamak büyük ölçüde planlamayı kolaylaştırmaktadır. De Mare, Mangenelli ve Nestico (2013), çalışma alanı İtalya olan bir RES için proje değeri hesaplarken MCS tercih etmişlerdir. NBD için simülasyon ile çalışmalarının nedeni olarak modelin teknik açıdan hesaplama kolaylığının olması ve model oluşturmak için piyasada yüksek doğruluklu birçok yazılımın hazır bulunmasını göstermişlerdir. Sisodia, Soares ve Ferreira (2016), İspanya'da yaptıkları çalışmada RES yatırımı için üç farklı senaryo ile hem opsiyon hem de NBD için MCS ile bir analiz yaparak, yatırım projesine ait Genişletilmiş NBD elde etmişlerdir. Her bir senaryo projeyi oluşturan parametreler için farklı değişimler gösterdiği öngörülerek belirlenmiş olup, her biri içinde ayrı ayrı NBD hesaplaması yapılmıştır. Onar ve Klavuz (2015) yaptıkları çalışmada RES yatırımı için hem opsiyon değeri hem de NBD hesabında MCS ile çalışmayı tercih etmişlerdir. Reel opsiyon değerlendirme yöntemleri arasında Black-Scholes, Binomial yöntem kadar dinamik bir çalışma prensibine sahip MCS'da tercih edilmekte olup sadece opsiyon değer için değil farklı kombinasyonlarda ve farkı deneme sayıları ile döngüler hesaplanmaktadır. Araştırmacılar her proje değeri içinde MCS ile çalışmayı tercih etmişlerdir. Bu duruma bir diğer olumlu sebepte MCS'nin kendi içerisinde kullanıcıya sunduğu duyarlılık analizi ve tornado grafiği gibi önemli analizlerin kullanıcı ya da yatırımcıya sunulabilmesi olmuştur. Rohlfs ve Madlener (2014), Almanya'da ki RES

yatırımının proje değerini MCS ile analiz ederek elde etmiştir. Analitik yöntem kullanılmalarının sebebinin proje parametrelerinin risk ve belirsizlik durumlarını içermeyen sabit bir iskonto oranı ile indirgeyerek proje değerini olduğundan farklı hesaplayacağını düşünmeleri olmuştur. MCS ile proje parametre değerleri kesin ve net bir değer almadan stokastik süreci kapsadıkları düşünülerek olasılık dağılımları ile tanımlanmakta bu da proje değeri üzerinde geleceğin belirsiz etkilerini daha iyi yansıtmaktadır.

**Tablo 8.** Literatür araştırması

Yazar	Yıl	Ülke	Değerleme Yöntemi
Barroso, M.M., Iniesta, J.B.	2014	Almanya	Monte Carlo Simülasyonu
Boomsma, T. K., Meade, N., Fleten, S.-E.	2012	Norveç	Monte Carlo Simülasyonu
Boomsma, T.K., Linnerud, K.	2015	Danimarka	Monte Carlo Simülasyonu
De Mare, G. Manganelli, B. And Nesticò, A.	2013	İtalya	Monte Carlo Simülasyonu
Iniesta, J.B. and Barroso, M.M.	2015	Danimarka	Monte Carlo Simülasyonu
Munoz, J. I., Contreras, J., Caamaño, J., Correia, P. F.	2011	İspanya	Monte Carlo Simülasyonu
Onar, S.Ç., Kılavuz, T.N.	2015	Türkiye	Monte Carlo Simülasyonu
Reuter, W. H., Fuss, S., Szolgayova, J., Obersteiner, M.	2012	Almanya Norveç	Monte Carlo Simülasyonu
Rohlf, W. And Madlener, R.	2014	Almanya	Monte Carlo Simülasyonu
Scatasta, S., Mennel, T.	2009	Almanya	Monte Carlo Simülasyonu
Sisodia, G.S., Soares, I. and Ferreira, P	2016	İspanya	Monte Carlo Simülasyonu
Sisodia, G.S., Soares, I., Ferreira, P., Banerji, S. and Prasad, R.	2015	İspanya	Monte Carlo Simülasyonu
Venetsanos, K., Angelopoulou, P., Tsoutsos, T.	2002	Yunanistan	Monte Carlo Simülasyonu

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma da geleneksel değerlendirme yöntemlerinden İNA yöntemi ile NBD hesabında elde edilen değerler ve Crystal Ball programı ile MCS sonucu elde edilen değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Hem NBD hem de Bugünkü Değer için elde edilen değerlerin birbirlerine çok benzer sonuçlar verdikleri görülmüş ve MCS'nin değerlendirme çalışmalarında daha dinamik, daha rahat ulaşılabilir ve anlaşılabilir çözüme ulaştırdığı sonucuna varılmıştır.

Gelişen dünyada analitik programlama ya da yazılım ile sadece sonucun elde edilmesi değil, grafikler gibi ek verilerle de destekleyecek yenilikçi yöntemlere ihtiyaç vardır. Crystal Ball programı bu anlamda hem geleneksel yöntemler ile benzer sonuçlar vermesi, hem sonuç ürünleri destekleyici ve geleceğe yönelik yatırımcı için de büyük fayda sağlayacak duyarlılık analizi, tornado grafiği, yüzdelik istatistikler gibi verilerle de destekleyici olması yönünden, bu alanda değerlendirme analizlerinde kullanılmasının daha yenilikçi ve avantajlı olabileceğini göstermiştir. Simülasyon RES gibi büyük yatırımlı projelerde gelecekteki risk ve belirsizliği barındıran durumları, olasılık dahilinde işlemlere dahil etmesi ile de sabit değerlerle çalışma prensibine sahip geleneksel değerlendirme yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. MCS’de dikkat edilmesi gereken hususlar girdi parametrelerine ait olasılık dağılımlarının seçilmesi ve çıktı parametreleri için de MS Excel’de oluşturulacak denklemlerin hatasız bir şekilde tanımlanmasıdır. Kullanıcı değerlendirme öncesi bu hususları özenle çözümlendiğinde elde edilecek sonuçların yatırımcı için hem bugünün şartlarında hem de ek analizlerle gelecekteki şartlarda ve yatırımın hangi yönde ilerleyebileceği konusunda fikir sahibi olabilecektir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma sorumlu yazarın “Reel Opsiyonlarla Yenilenebilir Enerji Tesislerinin Değerlemesi” başlıklı doktora tezinden üretilmiş olup, çalışmaya katkı sunan çok değerli tez danışmanları Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ’ye ve Doç. Dr. Pelin KASAP’a teşekkür ederiz.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Arıcı E. (2003). *Optimal Capital Structure For Build-Operate-Transfer Power Projects*. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Barroso, M. M. and Iniesta, J. B. (2014). A valuation of wind power projects in Germany using real regulatory options. *Energy Journal*, 77, 422-433.
- Bendob, A. And Bentouir, N. (2019). Options Pricing by Monte Carlo Simulation, Binomial Tree and BMS Model: a comparative study of Nifty 50 options index. *Journal of Banking and Financial Economics* (pp:79-95). Warsaw, Poland.
- Bilir, H. (2012). *Enerji Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Reel Opsiyon Yaklaşımı*. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, pp.30.
- Boomsma, T. K. and Linnerud, K. (2015). Market and policy risk under different renewable electricity support schemes. *Energy Journal*, 89, 435-448.
- Boomsma, T. K., Meade, N. and Fleten, S. E. (2012). Renewable energy investments under different support schemes: A real options approach. *European Journal of Operational Research*, 220, 225-237.
- Brabazon, A. and O'Neill, M. (2009). *Natural Computing in Computational Finance (Vol:2)*. New York, Springer.
- Broyles, J. (2003). *Financial Management and Real Options*. John Wiley & Sons Ltd, England.
- Cheah, C.Y.J. and Garvin, M. J. (2009). Application of Real Options in PPP Infrastructure Projects: Opportunities and Challenges. *Policy, Finance & Management for Public- Private Partnership (Ch.13)*, Edited by A. Akintoye, and M. Beck, Wiley-Blackwell.
- De Mare, G., Manganelli, B. and Nesticò, A. (2013). The Economic Evaluation of Investments in The Energy Sector: A Model for The Optimization of the Scenario Analyses. *Computational Science and Its Applications- ICCSA 2013*, 359-374.
- Graham, J. R. and Harvey, C. R. (2001). The Theory and Practice of Corporate Finance: Evidence from the Field. *Journal of Financial Economics*, 60, 187-243.
- Guj, P. (2006). Mineral Project Evaluation – An Introduction, Philip Maxwell (der.). *Australian Mineral Economics içinde, The Australian Institute of Mining and Metallurgy*, Victoria.
- Iniesta, J. B. and Barroso, M. M. (2015). Assessment of Offshore Wind Energy Project in Denmark. A Comparative Study with Onshore Projects Based on Regulatory Real Options. *Journal of Solar Energy Engineering*, 137(4): 041009 (13 pages).
- Jog, V. M., and Srivastava, A. K. (1995). Capital Budgeting Practices in Corporate Canada. *Financial Practice and Education*, 5(2), 37-43.
- Kodukula, P. and Papudesu, C. (2006). *Project Valuation Using Real Options*. Florida, ABD, J.Ross Publishing.
- Malesevic, B. (2017). AADM next phase. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*, 11(1), 242-243.
- Mun, J. (2006). *Real Options Analysis Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Munoz, J. I., Contreras, J., Caamaño, J. and Correia, P. F. (2011). A decision-making tool for project investments based on real options: the case of wind power generation. *Annals of Operations Research*, 186, 465-490.
- Onar, S. Ç. and Kılavuz, T. N. (2015). Risk Analysis of Wind Energy Investments in Turkey. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21, 1230-1245.
- Reuter, W. H., Fuss, S., Szolgayova, J. and Obersteiner, M. (2012). *Renewable energy investment: Policy and market impacts*, 97, 249-254.
- Rohlf, W. and Madlener, R. (2014). Optimal investment strategies in power generation assets: The role of technological choice and exiting portfolios in the deployment of low-carbon technologies. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 28, 114-125.
- Samıs, M. (2003). Applying Advanced Financial Methods (Real Options) to Mine Valuation Problems. MIRARCO Engineering Seminar Series, *Kuiseb Minerals Consulting*, Toronto.

- SBB, 2020-2022 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi. [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/10/2020\\_2022\\_Donemi\\_Yatirim\\_Programi\\_Hazirlama\\_Rehberi.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/10/2020_2022_Donemi_Yatirim_Programi_Hazirlama_Rehberi.pdf) (01.10.2021).
- Scatasta, S. and Mennel, T. (2009). Comparing Feed-In-Tariffs and Renewable Obligation Certificates- the Case of Wind Farming. *Center for European Economic Research*.
- Schwartz, E. S. And Trigeorgis, L. (2004). Real Options and Investment under Uncertainty. London, England, The MIT Press.
- Simkins, B., and Kemper, K. (2013). *Real Options and Applicaitons in the Energy Industry*. Chapter 11.
- Sisodia, G.S., Soares, I. and Ferreira, P. (2016). Modeling business risk: the effect of regulatory revision on renewable energy investment- The Iberian case. *Renewable Energy*, 95, 303-313.
- Sisodia, G.S., Soares, I., Ferreira, P., Banerji, S. and Prasad, R. (2015). Project Business Risk of Regulatory Change on Wind Power Project: Case of Spain.
- Venetsanos, K., Angelopoulou, P. and Tsoutsos, T. (2002). Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment. *Energy Policy*, 30, 293-307.
- YEK Kanunu, *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun*. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5346.pdf> (25.09.2021).



## TiO<sub>2</sub> Nanoparçacık Kaplı Pamuklu Kumaşın Fotokatalitik ve Antibakteriyel Özelliklerinin İncelenmesi

Agah Oktay ÖZDEMİR<sup>1\*</sup>, Mehmet KUZUCU<sup>2</sup>, Eda KELEŞ GÜNER<sup>3</sup>, Bilge DOĞAN<sup>4</sup>,  
Bülent ÇAĞLAR<sup>5</sup>

### Öz

Bu çalışmada, fotokatalitik ve antibakteriyel özelliklere sahip, TiCl<sub>4</sub>'ün hidroliziyle sentezlenen farklı miktarlarda TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar ile yüzey modifiye edilmiş pamuklu kumaşlar hazırlandı. Hazırlanan bu TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları kaplı pamuklu kumaşların fotokatalitik aktiviteleri UVA ışınları altında Kristal Viyolet (KV) boyar maddesinin bozunmasında incelendi. KV'nin, TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları kaplı pamuklu kumaşlar üzerindeki fotokatalitik bozunması için en uygun şartlar 0,625 mgL<sup>-1</sup> başlangıç KV konsantrasyonu ve 57 mgL<sup>-1</sup> TiO<sub>2</sub> nanoparçacık yükleme miktarı olarak belirlendi. Bu en uygun şartlar altında, ilgili fotokatalizör varlığında 40 dakika içerisinde UVA ışınları altında KV'nin % 89,31'inin bozunmaya uğradığı tespit edildi ve bozunma reaksiyonunun birinci dereceden kinetiği takip ettiği belirlendi. Reaktif tür deneyleri, hidroksil radikallerinin diğer radikal türlere nispeten daha önemli bir rol oynadığını ortaya çıkardı ve elde edilen bu verilere göre olası bozunma mekanizması önerildi. Ayrıca TiO<sub>2</sub> kaplanmış pamuklu kumaşların antibakteriyel aktivitesinin incelenmesi için disk difüzyon metodu kullanıldı. Antibakteriyel aktivite tayininde Gram pozitif bakteri olarak *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), Gram negatif bakteri olarak *Escherichia coli* (ATCC 25922) üzerinde denemeler gerçekleştirildi. Disk difüzyon deneyi sonuçlarına göre; 38 ve 57 mgL<sup>-1</sup> konsantrasyonlarında TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış pamuklu kumaşlarda, antibiyotik referansların oluşturduğu inhibisyon zonu çapına kıyasla relatif olarak *E. coli*'ye karşı sırasıyla % 40,9 ve % 60,2 oranlarında antibakteriyel etki görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** TiO<sub>2</sub> nanoparçacık, Pamuklu kumaşlar, Fotokatalitik aktivite, Antibakteriyel

## Investigation of Photocatalytic and Antibacterial Properties of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Coated Cotton Fabric

### Abstract

In this study, surface modified cotton fabrics were prepared with different amounts of TiO<sub>2</sub> nanoparticles which has photocatalytic and antibacterial properties, synthesized by hydrolysis of TiCl<sub>4</sub>. The photocatalytic activities of the prepared cotton fabrics with coated TiO<sub>2</sub> nanoparticles were investigated in the degradation of the Crystal Violet (KV) dyestuff under UV light irradiation. The TiO<sub>2</sub> coated cotton fabric showed good photocatalytic performance for the degradation of Crystal Violet (KV) under UV light irradiation. The optimum conditions for photocatalytic degradation of KV on TiO<sub>2</sub> nanoparticles coated cotton fabrics were determined as 0.625 mgL<sup>-1</sup> initial KV concentration and 57 mgL<sup>-1</sup> TiO<sub>2</sub> nanoparticle loading amount. Under these optimum conditions, it was determined that 89.31% of the KV was decomposed under UV light irradiation within 40 minutes in the presence of the relevant photocatalyst, and it was determined that the degradation reaction followed first-order kinetics. Reactive species experiments revealed that hydroxyl radicals play a more important role than other radical species, and according to the results, possible degradation mechanism was suggested. In addition, disc diffusion method was used to examine the antibacterial activity of TiO<sub>2</sub> coated cotton fabrics. Trials were performed on *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) as Gram-positive bacteria and *Escherichia coli* (ATCC 25922) as Gram-negative bacteria in the determination of antibacterial activity. According to the results of disk diffusion experiment; In cotton fabrics coated with TiO<sub>2</sub> at 38 and 57 mgL<sup>-1</sup> concentrations, approximately 40.9% and 60.2% antibacterial activity was observed against *E. coli*, respectively, compared to the diameter of the inhibition zone formed by the antibiotic references.

**Keywords:** TiO<sub>2</sub> nanoparticles, Cotton fabrics, Photocatalytic activity, Antibacterial

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Erzincan, Türkiye, aoozdemir@erzincan.edu.tr

<sup>2</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Erzincan, Türkiye, mkuzucu@erzincan.edu.tr

<sup>3</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Üzümlü Meslek Yüksekokulu, Erzincan, Türkiye, eda.guner@erzincan.edu.tr

<sup>4</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Erzincan, Türkiye, bilgedgn89@gmail.com

<sup>5</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Erzincan, Türkiye, bcaglar@erzincan.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4488-746X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7786-7687>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-4421-1315>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-7552-3461>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-6087-3685>

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 03.10.2022

Kabul/Accepted: 22.11.2022

## 1. Giriş

Tekstil sektörü, diğer sektörlerde olduğu gibi, kullanıcı beklentilerini karşılayan yeni ürünlerin üretilmesi ve çeşitli alanlardaki tekstil uygulamalarının zenginleşmesi sonucunda sistematik olarak gelişmektedir (Tobola ve ark., 2018). Tekstillerin standart estetik özelliklerinden ziyade teknik performansları ve spesifik fonksiyonel özellikleri nedeniyle modifiye edilerek üretilmeleri, esas olarak teknik tekstiller alanında tekstil ürünlerinin geliştirilmesi ile mümkün olmuştur (Rosace ve ark., 2017). Teknik tekstiller tıbbi, hijyen, spor, otomotiv, taşımacılık, konstrüksiyon, tarım ve benzeri birçok alanda kendilerine uygulama alanı bulmuştur (Horrocks ve Anand, 2003; Mecit ve ark., 2007a ve b).

Doğal bir lif olan pamuk, nem emiciliği ve nefes alabilirliği gibi fonksiyonları sayesinde kolay ve rahat kullanım özellikleri sağlamaktadır (Xu ve ark., 2018; Yu ve ark., 2019; İbrahim ve ark., 2019; Chen ve ark., 2018). Pamuklu ürünlerin rekabet avantajlarını artırmak için araştırmacılar pamuklu kumaşa ek işlevler kazandırmaya çalışmaktadır (Xu ve ark., 2018). Son zamanlarda, bu tür çalışmalar antibakteriyel aktivite (Rehman ve ark., 2018; Rana ve ark., 2016; Ran ve ark., 2018), hidrofobik özellikler (Riaz ve ark., 2019; Yang ve ark., 2018), UV koruması (Xu ve ark., 2018; Yang ve ark., 2019), fotokatalitik etki (Afzal ve ark., 2013; Sboui ve ark., 2022; Abid ve ark., 2017) ve alev geciktirme (Lin ve ark., 2019) üzerine odaklanmıştır.

Pamuklu kumaşlara bu tür özelliklerin kazandırılması için yüzey modifiye edici olarak, genellikle gümüş oksit (Xu ve ark., 2018), çinko oksit (Mai ve ark., 2018), bakır oksit (El-Nahhal ve ark., 2018), nikel oksit (Hwan ve ark., 2012), titanyum dioksit (Jiang ve ark., 2018) gibi nano parçacıklar kullanılmaktadır. Özellikle  $TiO_2$ , yüksek oksitleme gücü ve benzersiz ışığa duyarlı yarı iletken davranışları sebebiyle fotokatalitik ve antibakteriyel uygulamalarda kumaş kaplama malzemesi olarak büyük ölçüde tercih edilmiştir (Pant ve ark., 2019; Mancuso ve ark., 2022; Li ve ark., 2018).

Fotokatalitik etki gösteren nanoparçacık modifiyeli kumaşlar, ışığa maruz kaldığında organik kirleticilerin karbondioksit, su ve mineral asitlere parçalanmasını sağlarlar ki buda “fotokataliz” işlemi olarak bilinir (Xu ve ark., 2015). Nano boyutlu  $TiO_2$  parçacıkları, gerek yarıiletken özelliğe sahip olmaları gerekse birim kütle ve hacim başına büyük bir yüzey alanına sahip oldukları için uygun ışımalar altında yük taşıyıcıları oluşturarak yüksek fotokatalitik aktivite gösterirler (Yuranova ve ark., 2006).

Pamuklu ürünler gündelik hayatta diğer ürünlere nispeten daha fazla kullanıma sahip olmalarına rağmen, kullanılabilirliğinin kısıtlanmasını sağlayan bakterilerin büyümesine neden olması son derece kolay olup, bakteri bulaşmasına yol açarak insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır (Zhou ve ark., 2018; Kang ve ark., 2016; Xu ve ark., 2018). Bu durumun ortadan

kalkması için antibakteriyel aktiviteye sahip pamuklu kumaşların geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada  $TiCl_4$  çözeltisinden hidroliz yöntemi ile farklı miktarlarda  $TiO_2$  nanoparçacıkları elde edilip, pamuklu kumaşların yüzeylerine kaplandı.  $TiO_2$  nanoparçacık kaplı pamuklu kumaşlarımız SEM-EDX (FEI QUANTA 450) ile analiz edildi.  $TiO_2$  nanoparçacık kaplı kumaşlarımızın fotokatalitik performansları, UVA ışınması altında Kristal Violet (KV) boyar maddesinin bozunması ile araştırıldı. KV' nin  $TiO_2$  kaplı kumaş üzerinde fotobozunmasına mekanizma önerebilmek için reaktif tür yakalama deneyleri yapıldı. Son olarak antibakteriyel aktivitenin tespiti için disk difüzyon metodu kullanılarak; 9,5, 19, 38, 57  $mgL^{-1}$  konsantrasyonlarında  $TiO_2$  ile kaplanmış pamuklu kumaşların, *S. aureus* (ATCC 6538) ve *E. coli*'ye (ATCC 25922) karşı etkinliği test edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada ön terbiye işlemleri tamamlanmış; atkı sıklığı 20 tel/cm, çözgü sıklığı 28 tel/cm, gramajı 397  $g/m^2$ , örgüsü bez ayağı, atkı ve çözgü iplik numaraları Ne 14/1 olan %100 pamuklu dokuma kumaş kullanılmıştır. Kullanımdan önce safsızlıkları gidermek için aseton ve çift damıtılmış deiyonize su ile temizlendi. Titanyum (IV) klorür ( $TiCl_4$ ), Kristal Violet (KV), Sigma-Aldrich'ten (Almanya) elde edildi. *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) ve *Escherichia coli* (ATCC 25922), American Type Culture Collection'dan (ATCC) liyofilize ticari olarak satın alınmıştır. Nonidet P40, 2-propanol, DMSO, 2,3,5 Trifeniltetrazolyum klorür, Agar, Tryptic Soy Broth ve Mueller Hinton Broth, Sigma-Aldrich'ten (Almanya) satın alınmıştır. Gentamisin ve Tetrasiklin antibiyotik diskleri Oxoid'den (İngiltere) satın alınmıştır.

### 2.2. $TiO_2$ Nanoparçacıklarla Kaplanmış Pamuklu Kumaşın Hazırlanması

İlk önce,  $TiO_2$  stok çözeltisini hazırlamak için, buz banyosunda 1:8 hacim oranındaki distile suya yavaş yavaş 5,60 mL  $TiCl_4$  damlatılırken sürekli karıştırılarak hidroliz reaksiyonunun gerçekleşmesi sağlandı. Reaksiyon esnasında açığa çıkan HCl dumanlarını uzaklaştırmak için elde edilen stok çözelti yaklaşık 8 saat karıştırıldı. Daha sonra elde edilen berrak stok çözelti deneysel çalışmalarda kullanıldı (Lee ve Yang, 2005; Addamo ve ark., 2005).

Daha sonra laboratuvar tipi çektirme yöntemine göre çalışan numune boyama cihazının (Termal HT, İstanbul, Türkiye) çelik tüplerine 50 mL distile su, 4 cm x 4 cm pamuklu kumaş ve 35  $\mu L$   $TiO_2$

çözeltisi eklenerek ( $57 \text{ mgL}^{-1}$   $\text{TiO}_2$  madde miktarı için) cihaza yerleştirildi. Cihaz içerisindeki tüpler  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 saat döndürülerek  $\text{TiO}_2$  kaplı pamuklu kumaş elde edildi. Elde edilen  $\text{TiO}_2$  kaplı pamuklu kumaş su ile yıkanmış ve ardından  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuştur ve elde edilen bu kumaşın karakterizasyonu detaylı olarak gerçekleştirildi (Özdemir ve ark., 2022). Fotokataliz ve antibakteriyel uygulamalarda, yukarıdaki stok çözültiden  $\text{TiO}_2$  madde miktarları 9,5, 19, 38 ve  $57 \text{ mgL}^{-1}$  olacak şekilde  $\text{TiO}_2$  kaplı kumaş numuneleri hazırlandı.

### 2.3. Fotokataliz Çalışması

Fotokatalitik verimlerin değerlendirilmesi için, pamuklu kumaş numuneleri ( $4 \times 4 \text{ cm}^2$ ) UVA ışınması altında KV sulu çözeltisi içerisine Luzchem LZC-4X fotoreaktör cihazında çevre sıcaklığında daldırıldı. Işınlamadan önce, pamuklu kumaş ve KV, pamuklu kumaş katalizörü üzerinde KV moleküllerinin adsorpsiyon/desorpsiyon dengesini sağlamak için karanlıkta 60 dakika boyunca manyetik olarak karıştırıldı. Işınlama yapılmadan önce, adsorpsiyon/desorpsiyon dengesinden sonra, 1 mL çözelti alınarak ve UV-vis ile  $590 \text{ nm}$ 'de KV'nin başlangıç konsantrasyonunu ( $C_0$ ) belirlemek için absorpsiyon ölçüldü. Daha sonra KV'nin fotobozunmasını incelemek için ışınlama başlatıldıktan sonra belirlenen zaman aralıklarında çözültiden 1 mL'lik kısımlar alınarak UV-görünür spektrofotometresinde absorpsiyonları ölçüldü ve Lambert-Beer eşitliğiyle konsantrasyonları belirlendi ( $C_t$ ). KV'nin fotobozunması, Eşitlik (1)'e göre değerlendirildi ve tüm fotobozunma çalışmaları aynı koşullar altında üç kez tekrarlandı.

$$\text{Bozunma (\%)} = \left( \frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Burada  $C_0$  ve  $C_t$ , sırasıyla başlangıç ve t anında KV'nin konsantrasyonlarıdır.

### 2.4. Antibakteriyel Çalışması

Antibakteriyel testlerde Gram pozitif bakteri olarak; *S. aureus* (ATCC 6538), Gram negatif bakteri olarak *E. coli* (ATCC 25922) kullanılmıştır. Her ikisi içinde besiyeri olarak triptik soy broth (TSB) ve agar (TSA) kullanılmıştır.  $\text{TiO}_2$  kaplanmış kumaşların negatif ve pozitif kontrole göre etkinliği disk difüzyon metodu ile incelenmiştir (Ghosh ve ark., 2022)

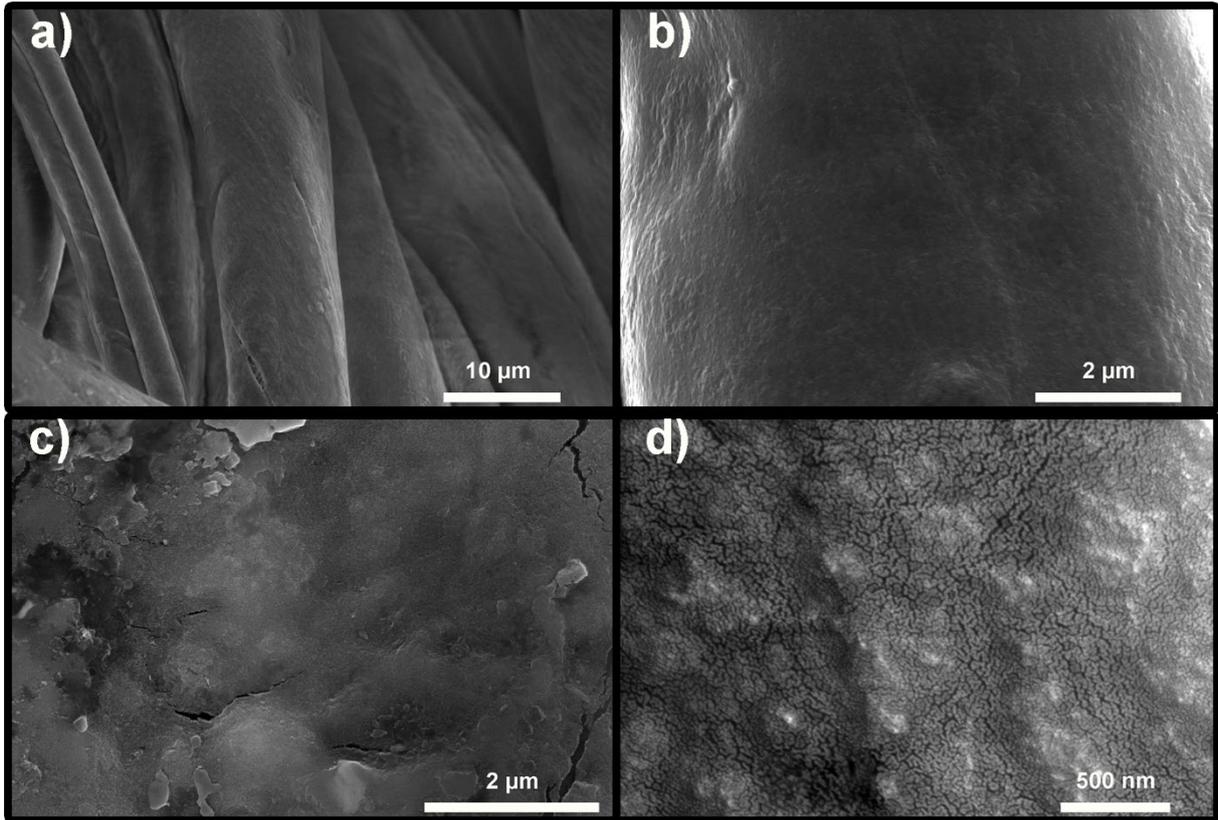
Stok kültüründen alınan bakteriler öncelikle 5'er ml TSB içinde inokülasyon kültürü (O/N) için inkübe edilmiştir. Ardından 100 ml'lik Mueller Hinton Broth besiyerine 1/100 oranında O/N kültürü ile inoküle edilerek 0,5 McFarland ( $\sim 1,5 \times 10^8$  CFU/ml) bulanıklık düzeyine eriştiğinde 100'er  $\mu\text{l}$  ayrı ayrı TSA üzerine inoküle edilen bakteriler drigalski özesiyle dağıtılarak steril edilmiş 0,6 cm pamuklu

kumaşların ve antibiyotik disklerin aseptik koşullarda yerleştirilmesinin ardından 24 saat 37 °C’de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası oluşan zon çapları görüntüleme cihazında ölçülerek referans antibiyotik disklerle göre TiO<sub>2</sub> kaplanmış pamuklu kumaşların yüzdece etkinlikleri hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. SEM-EDX analizi

Saf pamuk ve TiO<sub>2</sub> kaplı pamuk kumaş yüzey morfolojileri, SEM görüntüleri ile karşılaştırmalı olarak araştırıldı (Şekil 1 a-d). Şekil 1a–b’de gösterildiği gibi, saf pamuk lifleri, temiz, pürüzsüz ve silindirik görünüm morfolojisine sahiptir (Jiang ve ark., 2022). Pamuklu kumaşın TiO<sub>2</sub> ile kaplanmasından sonra, pamuk lifi yüzeyleri, hafif çatlaklar ile homojen, düzgün ve pürüzsüz bir yüzey sergileyen çok sayıda dağılmış küçük TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları ile kompakt bir şekilde kaplanmıştır (Şekil 1c-d).



Şekil 1. SEM görüntüleri (a)-(b) Saf Pamuk, (c)-(d) TiO<sub>2</sub> kaplı kumaş

SEM görüntülerini doğrulamak ve numunelerin elementel bileşimlerini (% atomik) belirlemek için numunelerin EDX analizi yapılmıştır (Tablo 1). Saf pamuklu kumaş sadece karbon (%73,80) ve oksijen (%26,20) içerirken, TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaş karbon (%66,47), oksijen (%30,73), altın (0,12) ve Ti (%2,68) içerir. Bu sonuçlar oksijen içeriğinin 26,20'den %30,73'e yükseldiğini ortaya

koydu. Ek olarak, TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaşlarda Ti'nin (%2,68) bulunması, TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının pamuklu kumaş yüzeyinde başarılı bir şekilde kaplandığını doğrulamaktadır.

**Tablo1.** Saf pamuklu ve TiO<sub>2</sub> kaplı kumaşların EDX sonuçları

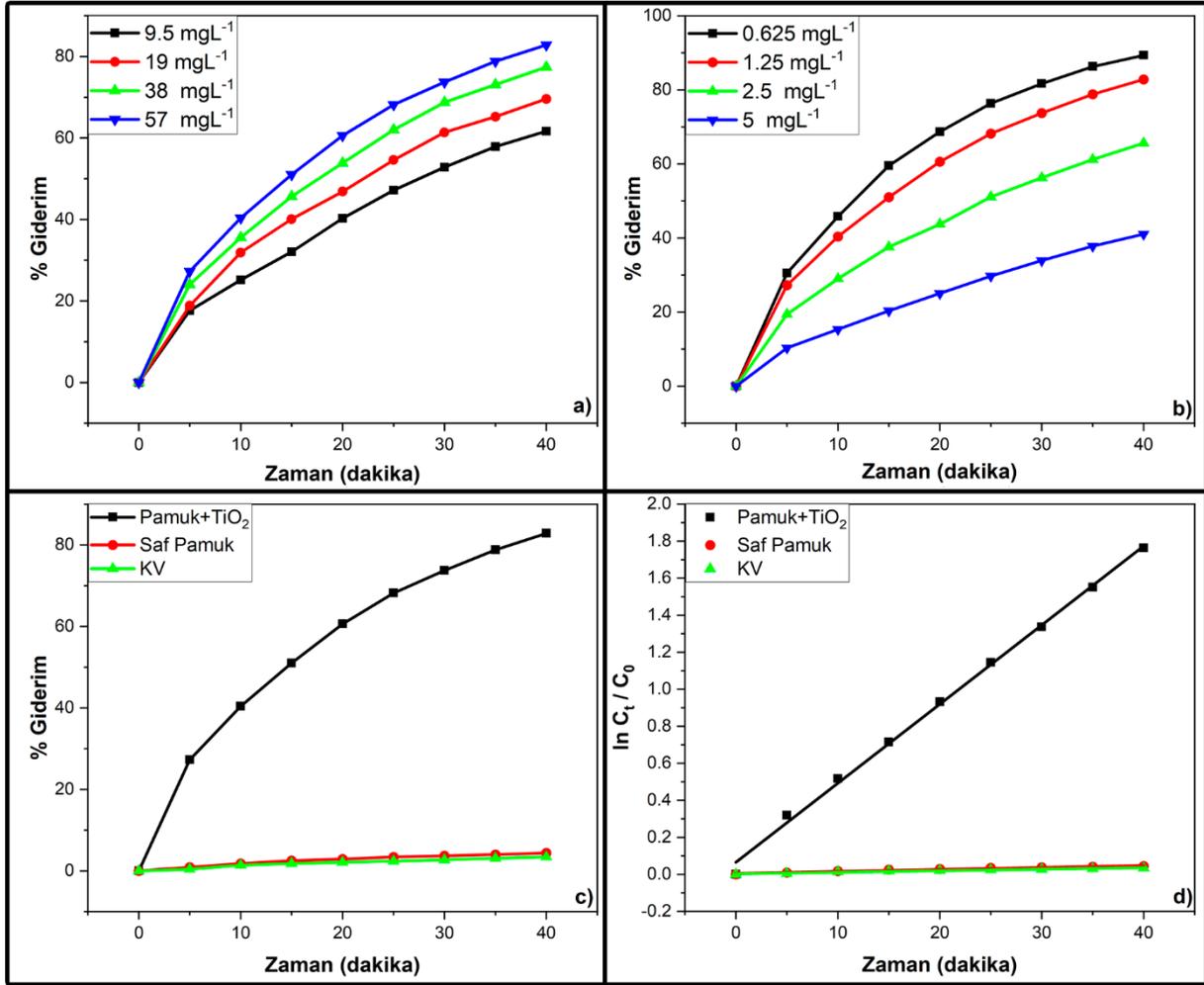
Numune	Element	% Ağırlık	% Atomik
Saf Pamuklu Kumaş	C	67,8	73,80
	O	32,2	26,20
TiO <sub>2</sub> Kaplı Pamuklu Kumaş	C	55,35	66,47
	O	34,09	30,73
	Au*	1,66	0,12
	Ti	8,9	2,68

\*SEM analizleri esnasında numunelerin altın ile kaplama yapılarak ölçümü alınmıştır.

### 3.2. Fotokataliz ve Mekanizma Çalışmaları

TiO<sub>2</sub> nanoparçacık kaplı pamuklu kumaşın fotokatalitik aktivitesi, karanlıkta adsorpsiyon-desorpsiyon dengesi (60 dakika) sonrasında, doğal pH'sında, UVA ışınması altında zamanın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir (Şekil 2-a-d). En uygun TiO<sub>2</sub> nanoparçacık kaplama miktarını belirlemek için 9,5, 19, 38 ve 57 mgL<sup>-1</sup> olmak üzere dört farklı miktarda TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar kaplı kumaşların KV'nin fotobozunmasına ait fotokatalitik aktiviteleri değerlendirilerek tespit edilmiştir. (Şekil 2-a).

Şekil 2-a'da, UVA ışınması altında TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar kaplı kumaşlar üzerindeki KV'nin fotobozunma oranlarının, TiO<sub>2</sub> nanoparçacık miktarının 9,5'den 57 mgL<sup>-1</sup>'e artırılmasıyla % 61,64'den %82,83'e yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum artan TiO<sub>2</sub> nanoparçacık miktarı ile kumaşlardaki aktif merkezlerin sayısının artmasıyla daha çok miktarda KV boyar maddesinin yüzeye tutunmasına imkân sağlaması ve daha fazla reaktif türlerin oluşmasıyla ilişkilidir (Çağlar ve ark., 2018).



**Şekil 2.** UVA ışınım altında KV'nin TiO<sub>2</sub> nanoparçacık kaplı pamuk kumaşlar üzerinde fotokatalizi

a) TiO<sub>2</sub> nanoparçacık kaplama miktarı etkisi b) Başlangıç KV miktarı etkisi c) 1,25 mgL<sup>-1</sup> başlangıç KV konsantrasyonu ile fotobozunma d) Yalancı birinci derece kinetik

Başlangıç boya konsantrasyonunun fotobozunma üzerindeki etkisini belirlemek için, UVA ışınım altında 57 mgL<sup>-1</sup> TiO<sub>2</sub> nanoparçacık kaplı pamuklu kumaş varlığında, 0,625 mgL<sup>-1</sup> ile 5 mgL<sup>-1</sup> arasında farklı başlangıç boya konsantrasyonlarına sahip KV çözeltileriyle bir dizi fotobozunma deneyi gerçekleştirilmiştir. 0,625 mgL<sup>-1</sup>'den 5 mgL<sup>-1</sup>'e kadar artan başlangıç boya konsantrasyonu ile, boya molekülleri tarafından katalizör yüzeyinde daha fazla fotokatalitik aktif merkezlerin işgali sebebiyle KV'nin fotobozunma verimlerinin kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Buna ilaveten fotokatalitik çalışmalarda artan boya konsantrasyonu ile boya çözeltisinin şeffaflığının azalması ışınımın katalizör yüzeyine nüfusunu azalttığı da bilinen bir durumdur (Khani ve ark., 2013). Artan KV molekülleri daha fazla ışınımı soğurarak, daha az fotonun fotokatalizör yüzeyine ulaşmasına ve dolayısıyla daha düşük bir fotobozunma verimine sebep olur. UVA ışınım altında KV'nin başlangıç konsantrasyonu 0,625 mgL<sup>-1</sup> olduğunda, bozunma verimleri 40 dakikada % 89,31'e ulaşmıştır (Şekil 2-b). Kinetik çalışmaların daha kolay incelenmesi için seçilen 1,25 mgL<sup>-1</sup> başlangıç KV konsantrasyonu ile elde edilen veriler Şekil 2-c gösterilmiştir.

KV'nin fotobozunması, herhangi bir katalizör olmaksızın UVA ışınları altında % 3,4 olduğu görülmektedir. Bu durum, gelen fotonların KV'nin uyarılarak bozunmasında önemli bir rolünün olmadığını göstermektedir (Güner ve ark., 2021). Beklendiği gibi, saf pamuklu kumaş varlığında da KV fotobozunması gözlemlenmedi ve 40 dakika sonunda KV fotolizine yakın bozunma verimlerinde kaldı (%4,4). Fakat KV moleküllerinin TiO<sub>2</sub> nanoparçacık kaplı pamuklu kumaş üzerinde fotobozunmasına ait fotokatalitik verimleri UVA altında 40 dakika sonunda %82,83 olarak elde edilmiştir.

KV boyar maddesinin TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaş üzerinde, fotobozunma kinetiğini tanımlamak için Langmuir-Hinshelwood kinetik modelinden türetilen yalancı-birinci dereceden reaksiyon kinetik modeli (Eşitlik 2) kullanılmış ve deneysel veriler bu kinetik modele göre değerlendirilmiştir (Şekil 2-d) (Çağlar ve ark., 2021; Özdemir ve ark., 2022).

$$-\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = k \cdot t \quad (2)$$

Burada; C<sub>0</sub> adsorpsiyon/desorpsiyon dengesinden hemen sonra ve ışınlamadan hemen önce KV'nin ilk konsantrasyonudur, C<sub>t</sub>, ilgili ışınlama zamanında KV konsantrasyonunu, k, gözlenen yalancı birinci dereceden hız sabitidir (min<sup>-1</sup>) ve t ışınlama süresidir (dak).

k sabiti, yukarıdaki denkleme göre; ln (C<sub>0</sub>/C<sub>t</sub>)'e karşı zaman (dakika) grafiğinden (Şekil 2-d) elde edilen doğrunun eğimden hesaplanmıştır. UVA ışınları altında saf pamuklu kumaş ve TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaş varlığında KV fotobozunmasına ait yalancı birinci derece hız sabitleri sırasıyla 0,00108 ve 0,04272 dk<sup>-1</sup>olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi, UVA ışınları altında TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaş için hesaplanan k sabiti saf kumaşa göre yaklaşık 40 kat daha büyüktür. Tablo 2'de gözlenen yalancı birinci dereceden hız sabitleri, karşılık gelen başlangıç fotokatalitik bozunma hızları (r<sub>0</sub>) ve korelasyon katsayıları verilmiştir.

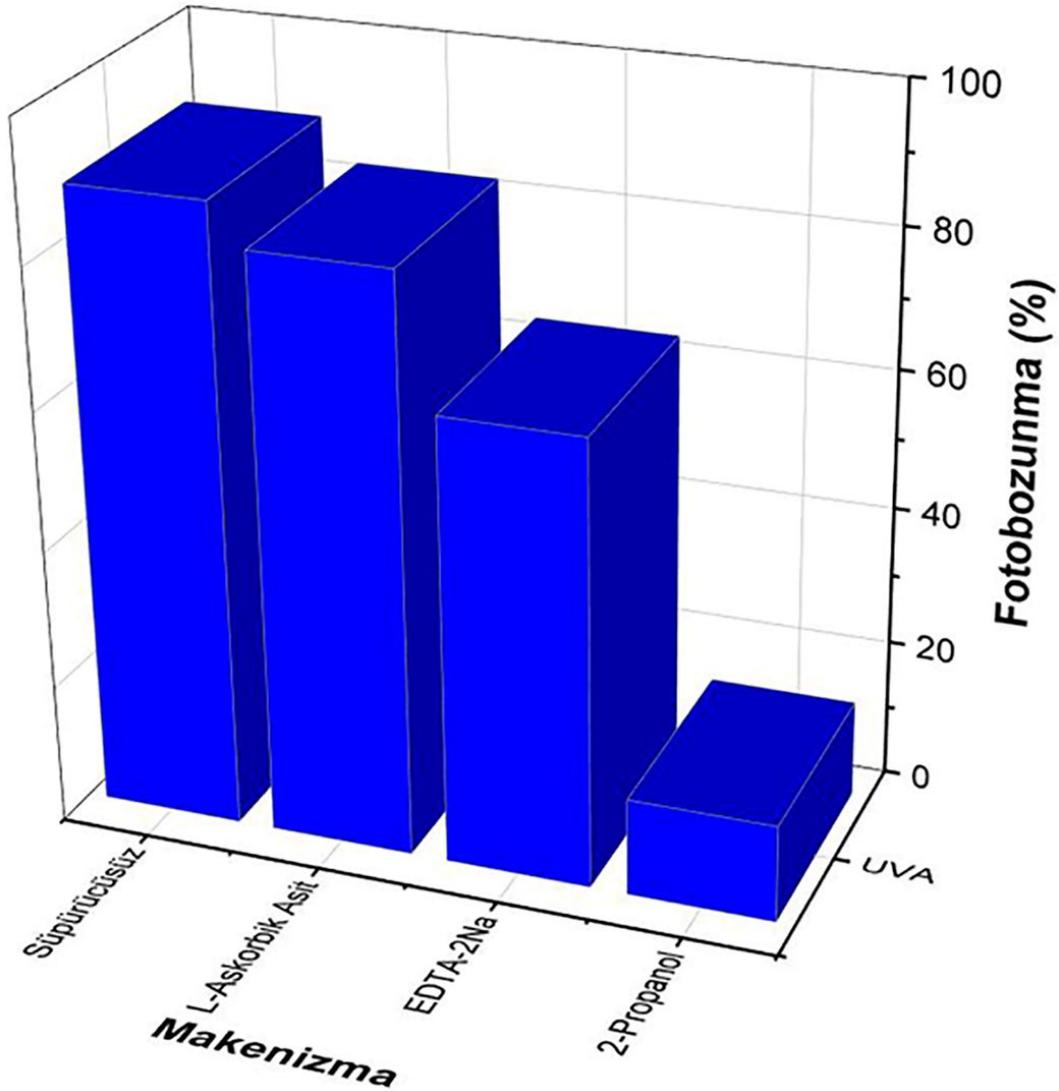
**Tablo 2.** Yalancı-birinci dereceden kinetik için KV'nin fotobozunma hız sabitleri ve korelasyon katsayıları

Numune	k (dak <sup>-1</sup> )	r <sub>0</sub> (µM.dak <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Pamuk+TiO <sub>2</sub>	0,04272	0,0000534	0,9974
Saf Pamuk	0,00108	0,0000014	0,9581
KV	0,00084	0,0000011	0,9621

Tablo 2'de görüldüğü gibi, TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaşın gözlenen hız sabiti, başlangıç bozunma hızı ve korelasyon katsayısı, UVA ışınları altında diğer numunelerden daha büyüktür. Bu durum, TiO<sub>2</sub> kaplı pamuklu kumaşın en yüksek fotokatalitik performansa sahip olduğunu ve fotobozunmanın yalancı birinci kinetik izlediğini göstermektedir.



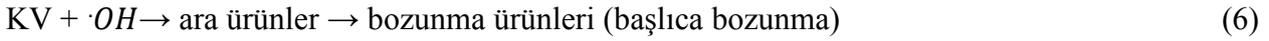
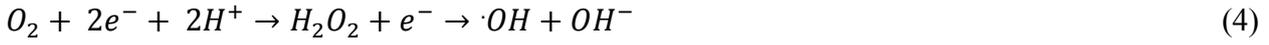
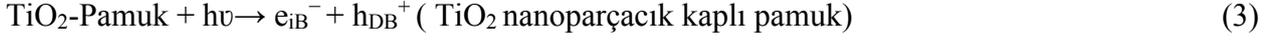
Hidroksil radikallerinin ( $\cdot\text{OH}$ ), süperoksit radikallerinin ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) ve fotojenere boşlukların ( $\text{h}^+$ ) öncelikle fotokatalitik süreçten sorumlu ana reaktif türler olarak kabul edildiği bilinmektedir (Çağlar, 2021; Jiang, 2015; Vinoth, 2016). Bu sebeple, reaktif türlerin KV'nin  $\text{TiO}_2$  kaplı pamuk üzerinde fotokatalitik bozunması üzerindeki katkılarını belirlemek ve olası mekanizmayı aydınlatmak için bir dizi reaktif tür yakalama deneyi yapıldı. 2-propanol (2-p), L-askorbik asit (LA) ve etilendiamintetraasetik asit disodyum tuzu (EDTA-2Na), sırasıyla hidroksil radikallerinin ( $\cdot\text{OH}$ ), süperoksit radikallerinin ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) ve boşlukların ( $\text{h}^+$ ) rolünü değerlendirmek için süpürücüler olarak kullanıldı.



Şekil 3. KV'nin fotobozunmasında reaktif türlerin etkisi

Şekil 3, süpürücülerin eklenmesiyle ve bunlar olmadan UVA altında KV'nin  $\text{TiO}_2$  nanoparçacık kaplı pamuk üzerinde fotokatalitik bozunmasında ki fotokatalitik verimliliklerini göstermektedir. LA ilavesinin KV'nin fotobozunma verimliliği üzerinde belirgin bir etkisi yoktur (% 83), bu da süperoksit radikallerinin ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) KV'nin fotobozunması üzerinde belirgin etkiye sahip

olmadığını göstermektedir. EDTA-2Na ilavesinin KV'nin fotobozunma verimliliği üzerinde etkisi (% 64) çok azdır, bu da boşlukların ( $h^+$ ) fotokatalitik süreçte doğrudan aktif tür olmadığını gösterir. Bu bulgular, 2-propanol ilavesinin KV'nin fotokatalitik bozunmasında hidroksil radikallerinin ( $\cdot OH$ ), ana reaktif türler olduğu (%14) ve en etken rolü oynadığı görülmektedir. Elde edilen reaktif türlerin deney sonuçlarından aşağıdaki mekanizma önerilmektedir:



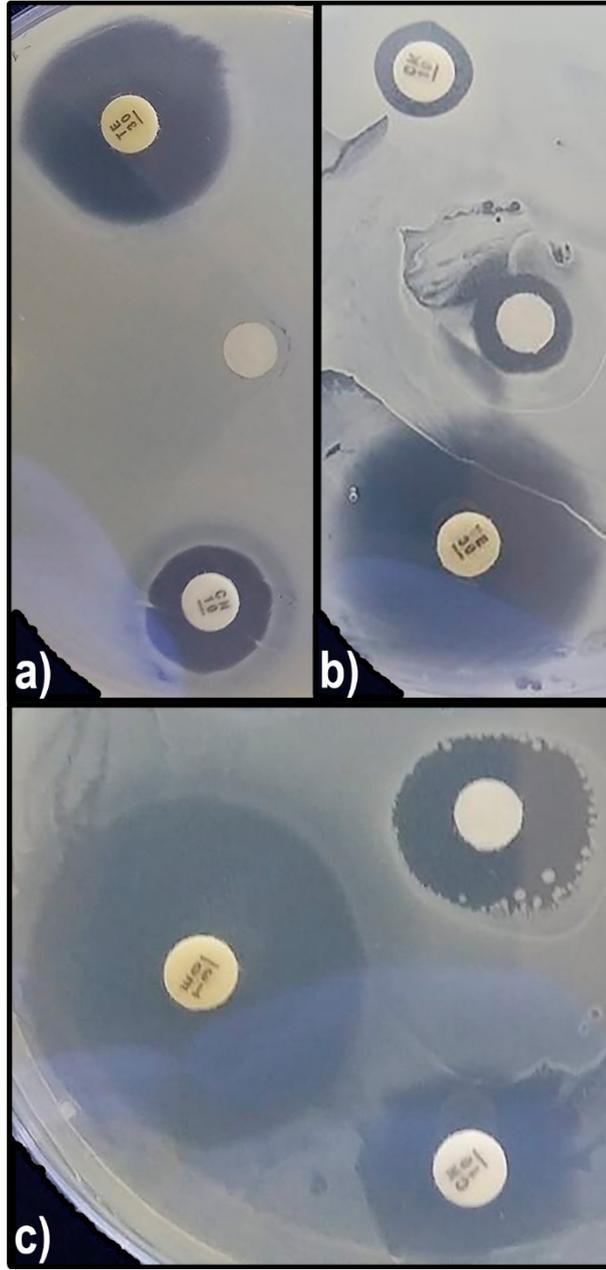
### 3.3. Antibakteriyel Çalışması

Disk difüzyon metodu ile gerçekleştirilen denemeler sonucunda 0,6 cm çaplı; negatif kontrol olarak herhangi bir işlem yapılmayan pamuklu kumaş, 9,5, 19, 38, 57  $mgL^{-1}$  konsantrasyonlarında  $TiO_2$  ile kaplanmış pamuklu kumaş, pozitif kontrol olarak kullanılmış gentamisin ve tetrasiklin antibiyotik diskler bakteriler üzerindeki etkileri oluşturdukları zon çaplarının görüntüleme cihazıyla belirlenerek hesaplanmıştır. Örneklerin antibakteriyel etki yüzdesi elde edilen zon çaplarının her petri için o petrideki referans antibiyotiklerin oluşturduğu zon çapının %100 olarak kabul edilmesiyle hesaplanmıştır. Çalışmada pozitif kontrole göre relatif değerlendirilen  $TiO_2$  kaplanmış kumaşlar içinde en yüksek yüzdece relatif etki *E. coli*'ye karşı 38 ve 57  $mgL^{-1}$  konsantrasyonlarında sırasıyla %40,9 ve %60,2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).

*S. aureus* üzerinde 38  $mgL^{-1}$  ve 57  $mgL^{-1}$   $TiO_2$  ile kaplanmış pamuklu kumaşların antibakteriyel etkisi *E. coli*'ye karşı gösterdiği etkiye göre daha az olmuştur (Tablo 3).

**Tablo 3.**  $TiO_2$  kaplanmış pamuklu kumaşların *E. coli*'ye ve *S. aureus*'a karşı referans antibiyotiklere göre relatif antibakteriyel yüzdeleri

Numune	<i>E. coli</i> (%)	<i>S. aureus</i> (%)
Tetrasiklin (30 $\mu g$ )	100	100
9,5 $mgL^{-1}$ $TiO_2$ Kaplı Pamuklu Kumaş	16,4	10,1
19 $mgL^{-1}$ $TiO_2$ Kaplı Pamuklu Kumaş	22,7	14,7
38 $mgL^{-1}$ $TiO_2$ Kaplı Pamuklu Kumaş	40,9	23,3
57 $mgL^{-1}$ $TiO_2$ Kaplı Pamuklu Kumaş	60,2	31,5



**Şekil 4.** Disk difüzyon metoduyla TiO<sub>2</sub> kaplanmış ve kaplanmamış pamuklu kumaşların *E. coli*'ye karşı antibakteriyel aktivitesi sonucu ortaya çıkan zonlar. Saf pamuklu kumaş (a), 38 mgL<sup>-1</sup> TiO<sub>2</sub> ile kaplı pamuklu kumaş (b), 57 mgL<sup>-1</sup> TiO<sub>2</sub> ile kaplı pamuklu kumaş (c).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

TiCl<sub>4</sub>'ün hidrolizi yoluyla başarılı bir şekilde sentezlenen TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları ile kaplı pamuklu kumaş, UVA ışınları altında KV'nin bozunması için iyi bir fotokatalitik performans gösterdi. KV'nin fotokatalitik bozunması için optimum şartlar 0,625 mgL<sup>-1</sup> başlangıç KV konsantrasyonu ve 57 mgL<sup>-1</sup> katalizör miktarı olarak belirlendi. Bu optimum şartlar altında, ilgili fotokatalizör varlığında 40 dakika içerisinde UVA ışınması altında KV'nin % 89,31' inin bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. Bozunma reaksiyonunun birinci dereceden kinetiği takip ettiği belirlenmiştir. UVA ışınması altında

KV boyasının fotobozunması için bir mekanizma önerdik. KV'nin fotokatalitik bozunmasında hidroksil radikallerinin (.OH) ana unsur olduğu (%14) ve en etken rolü oynadığı görülmüştür.

TiO<sub>2</sub> kaplı kumaşların antibakteriyel aktivitesi incelendiğinde gram negatif bir bakteri olan *E. coli*'nin daha fazla zon çapına sahip olduğu görülmüştür. Zon çapının daha fazla olması *E. coli*'nin TiO<sub>2</sub> kaplı kumaşa yaşayamadığını göstermektedir. Bu, *S. aureus*'un gram pozitif olması ve dolayısıyla hücre duvarının daha kalın bir peptidoglikan tabakası içermesi ile açıklanabilir (Erjaee ve ark., 2017).

TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının, özellikle aerobik solunum bakterilerinin hücre zarında mezozom yapılarında bulunan ATP üretiminden sorumlu elektron taşıma sistemindeki elektronların yakalanmasına neden olduğu, bu sebeple de tüm biyokimyasal reaksiyonları için gerekli enerjinin elde edilemediği şeklinde yorumlanabilir. Özet olarak gram pozitif bakterilerin mezozom yapılarının hücre duvarının dış yüzeyinden uzaklığının TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının bakterisidal aktivitesini sınırladığı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın kendi kendini temizleyen ve antibakteriyel pamuklu kumaş üretiminde yüzey modifiyeli pamuklu malzemelerin kolay hazırlanması için rehberlik etmesi beklenmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından FBA-2020-699 kodlu proje ile desteklenmiştir. Finansal desteklerinden dolayı Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne teşekkür ederim.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Abid, M., Bouattour, S., Ferraria, A. M., Conceição, D. S., Carapeto, A. P., Vieira Ferreira, L. F., Botelho do Rego, A. M., Rei Vilar, M., Boufi, S., (2017). Functionalization of cotton fabrics with plasmonic photoactive nanostructured Au-TiO<sub>2</sub> layer. *Carbohydrate Polymers*, 176, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.090>
- Addamo, M., Augugliaro, V., Di Paola, A., Garcia-Lopez, E., Loddo, V., Marci, G., Palmisano, L., (2005). Preparation and photoactivity of nanostructured TiO<sub>2</sub> particles obtained by hydrolysis of TiCl<sub>4</sub>. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 265, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.11.048>
- Afzal, S., Daoud, W. A., Langford, S. J., (2013). Visible-light self-cleaning cotton by metalloporphyrin-sensitized photocatalysis. *Applied Surface Science*, 275, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.01.141>
- Chen, D., Mai, Z., Liu, X., Ye, D., Zhang, H., Yin, X., Zhou, Y., Liu, M., Xu, W., (2018). UV-blocking, superhydrophobic and robust cotton fabrics fabricated using polyvinylsilsesquioxane and nano-TiO<sub>2</sub>. *Cellulose*, 25 (6), 3635–3647. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1790-7>
- Çağlar B., Keleş Güner E., Keleş K., Özdokur K.V., Çubuk O., Çoldur F., Çağlar S., Topçu C., Tabak A., (2018). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles decorated smectite nanocomposite: Characterization, photocatalytic and electrocatalytic activities. *Solid State Sciences*, 83, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2018.07.013>
- Çağlar. B., Guner, E.K., Özdokur, K.V., Özdemir, A.O., İçer, F., Çağlar, S., Doğan, B., Beşer, B.M., Çırak, Ç., Tabak, A., Ersoy, S., (2021). Application of BiFeO<sub>3</sub> and Au/BiFeO<sub>3</sub> decorated kaolinite nanocomposites as efficient photocatalyst for degradation of dye and electrocatalyst for oxygen reduction reaction. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 418, 113400. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2021.113400>
- El-Nahhal, I. M., Elmanama, A. A., Amara, N., Qodih, F. S., Selmane, M., Chehimi, M. M., (2018). The efficacy of surfactants in stabilizing coating of nano-structured CuO particles onto the surface of cotton fibers and their antimicrobial activity. *Materials Chemistry and Physics*, 215, 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.05.012>
- Erjaee, H., Rajaian, H., Nazifi, S., (2017). Synthesis and characterization of novel silver nanoparticles using Chamaemelum nobile extract for antibacterial application. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 8, 025004. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aa690b>
- Ghosh, T., Chattopadhyay, A., Pramanik, S., Mukherjee, S., Das, S., Mandal, A. C., Kuir, P. K., (2022). Biosynthesis of ZnO nanoparticles and their in-situ coating on cotton fabric using Azadirachta Indica leaf extract for enhanced antibacterial activity. *Materials Technology*, 37(11), 1755–1765. <https://doi.org/10.1080/10667857.2021.1978755>
- Güner, E. K., İçer, F., Özdemir, A. O., Çağlar, B., (2021). Farklı ışık kaynakları altında kristal viyole boyar maddesinin kaolin-BiFeO<sub>3</sub> nanokompozit üzerinde fotobozunması. *GÜFBED/GUSTIJ*, 11(3), 815–827. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.877702>
- Horrocks A. R., Anand, S. C., (2003). *Teknik Tekstiller El Kitabı (Technical Textiles Handbook)*. İstanbul: Türk Tekstil Vakfı (The Textile Institute).
- Hwan Ko, Y., Kim, S., Su Yu, J., (2012). Electrochemical synthesis of hierarchical β-Ni(OH)<sub>2</sub> nanostructures on conductive textiles. *Materials Letters*, 84, 132–135. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.06.075>
- İbrahim, M. M., Mezni, A., El-Sheshtawy, H. S., Abu Zaid, A. A., Alsawat, M., El-Shafı, N., Ahmed S.I., Shaltout, A. A., Amin, M. A., Kumaria, T., Altalhi, T., (2019). Direct Z-scheme of Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> enhanced self-cleaning, antibacterial activity, and UV protection of cotton fiber under sunlight. *Applied Surface Science*, 479, 953 – 962. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.02.169>
- Jiang, C., Liu, W., Yang, M., Liu, C., He, S., Xie, Y., Wang, Z., (2018) Facile fabrication of robust fluorine-free self-cleaning cotton textiles with superhydrophobicity, photocatalytic activity, and UV durability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 559, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.09.048>
- Jiang, H. Y., Ouyang, Z. Y., Hu, R., Wan, J., Zhu, J. J., (2022) Self-cleaning Finishing of Cotton Fabric with TiO<sub>2</sub>/Ag<sub>2</sub>S/rGO Composite”, *Fibers and Polymers*, 23(1), 254–262. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0119-6>
- Jiang Y.R., Lin H.P., Chung W.H., Dai Y.M., Lin W.Y., Chen C.C., (2015). Controlled hydrothermal synthesis of BiOxCl<sub>y</sub>/BiO<sub>m</sub>In composites exhibiting visible- light photocatalytic degradation of crystal violet, *Journal of Hazardous Materials* 283: 787–805. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.10.025>

- Kang, C. K., Kim, S. S., Kim, S., Lee, J., Lee, J.-H., Roh, C., Lee, J., (2016). Antibacterial cotton fibers treated with silver nanoparticles and quaternary ammonium salts. *Carbohydrate Polymers*, 151, 1012–1018. <https://doi:10.1016/j.carbpol.2016.06.043>
- Khani A., Sohrabi M.R., Khosravi M., Davallo M., (2013). Enhancing purification of an azo dye solution in nanosized zero-valent iron-ZnO photocatalyst system using subsequent semibatch packed-bed reactor, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 37, 91-99. <https://doi:10.3906/muh-1201-6>.
- Lee, J. H., Yang, Y. S., (2005). Effect of hydrolysis conditions on morphology and phase content in the crystalline TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized from aqueous TiCl<sub>4</sub> solution by precipitation, *Mater. Chem. Phys.*, 93, 237–242. <https://doi:10.1016/j.matchemphys.2005.03.020>
- Li, X., Shi, J. L., Hao H., Lang, X., (2018). Visible light-induced selective oxidation of alcohols with air by dye-sensitized TiO<sub>2</sub> photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 232, 260-267, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.03.043>
- Lin, D., Zeng, X., Li, H., Lai, X., Wu, T., (2019). One-pot fabrication of superhydrophobic and flame-retardant coatings on cotton fabrics via sol-gel reaction. *Journal of Colloid and Interface Science*, 533, 198–206. <https://doi:10.1016/j.jcis.2018.08.060>
- Mai, Z., Xiong, Z., Shu, X., Liu, X., Zhang, H., Yin, X., Zhou, Y., Liu, M., Zhang, M., Xu, W., Chen, D., (2018). Multifunctionalization of cotton fabrics with polyvinylsilsesquioxane/ZnO composite coatings. *Carbohydrate Polymers*, 199, 516–525. <https://doi:10.1016/j.carbpol.2018.07.052>
- Mancuso, A., Morante, N., De Carluccio, M., Sacco, O., Rizzo, L., Fontana, M., Esposito, S., Vaiano, V., Sannino, D., (2022). Solar driven photocatalysis using iron and chromium doped TiO<sub>2</sub> coupled to moving bed biofilm process for olive mill wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 450(2), 138107, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138107>
- Mecit D., Ilgaz S., Duran D., Başal G., Gülümser T., Tarakçıoğlu I., (2007). Teknik Tekstiller Ve Kullanım Alanları (Bölüm 1), *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(2), 79-82.
- Mecit D., Ilgaz S., Duran D., Başal G., Gülümser T., Tarakçıoğlu I., (2007). Teknik Tekstiller Ve Kullanım Alanları (Bölüm 2), *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(3), 154-161.
- Özdemir, A. O., Caglar, B., Çubuk, O., Coldur, F., Kuzucu, M., Keles Guner, E., Doğan, B., Caglar, S., Özdemir, K. V., (2022). Facile synthesis of TiO<sub>2</sub>-coated cotton fabric and its versatile applications in photocatalysis, pH sensor and antibacterial activities”, *Materials Chemistry and Physics*, 287. <https://doi:10.1016/j.matchemphys.2022.126342>
- Pant, B., Park, M., Park, S.J., (2019). Recent Advances in TiO<sub>2</sub> Films Prepared by Sol-Gel Methods for Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants and Antibacterial Activities. *Coatings*, 9, 613. <https://doi:10.3390/coatings9100613>
- Ran, J., He, M., Li, W., Cheng, D., & Wang, X., (2018). Growing ZnO Nanoparticles on Polydopamine-Templated Cotton Fabrics for Durable Antimicrobial Activity and UV Protection. *Polymers*, 10(5), 495. <https://doi:10.3390/polym10050495>
- Rana, M., Hao, B., Mu, L., Chen, L., & Ma, P.-C., (2016). Development of multi-functional cotton fabrics with Ag/AgBr-TiO<sub>2</sub> nanocomposite coating. *Composites Science and Technology*, 122, 104–112. <https://doi:10.1016/j.compscitech.2015.11.016>
- Rehman, A., Rehman, A., Khalid, W., Safdar, F., Basit, A., Maqsood, H. S., Iqbal, K., Ashraf, M., (2018). Simultaneous dyeing and anti-bacterial finishing on 100% cotton fabric: process establishment and characterization. *Cellulose*, 25(9), 5405–5414. <https://doi:10.1007/s10570-018-1934-9>
- Riaz, S., Ashraf, M., Hussain, T., & Hussain, M. T., (2019). Modification of silica nanoparticles to develop highly durable superhydrophobic and antibacterial cotton fabrics. *Cellulose*, 26, 5159–5175. <https://doi:10.1007/s10570-019-02440-x>
- Rosace G., Guido E., Colleoni C., Brucale M., Piperopoulos E., Milone C., Plutino M. R., (2017). Halochromic resorufin-GPTMS hybrid sol-gel: Chemical-physical properties and use as pH sensor fabric coating. *Sensors and Actuators B*, 241, 85–95.
- Sboui, M., Lachheb, H., Swaminathan, M., Pan, J.H., (2022). Low-temperature deposition and crystallization of RuO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> on cotton fabric for efficient solar photocatalytic degradation of o-toluidine. *Cellulose*, 29, 1189–1204. <https://doi:10.1007/s10570-021-04308-5>
- Tobola M. F., Ciesielska M., Maliszewska I., Rumijowska O. R., Wozniak P. S., Teterycz H., Bryjak M., (2018). Deposition of Zinc Oxide on Different Polymer Textiles and Their Antibacterial Properties. *Materials*, 11, 707. <https://doi:10.3390/ma11050707>
- Xu, B., Ding, J., Feng, L., Ding, Y., Ge, F., & Cai, Z., (2015). Self-cleaning cotton fabrics via combination of photocatalytic TiO<sub>2</sub> and superhydrophobic SiO<sub>2</sub>. *Surface and Coatings Technology*, 262, 70–76. <https://doi:10.1016/j.surfcoat.2014.12.017>

- Xu, L., Shen, Y., Ding, Y., & Wang, L., (2018). Superhydrophobic and Ultraviolet-Blocking Cotton Fabrics Based on TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Composite Nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18(10), 6879–6886. <https://doi:10.1166/jnn.2018.15463>
- Xu, Q., Duan, P., Zhang, Y., Fu, F., & Liu, X., (2018). Double Protect Copper Nanoparticles Loaded on L-cysteine Modified Cotton Fabric with Durable Antibacterial Properties. *Fibers and Polymers*, 19(11), 2324–2334. <https://doi:10.1007/s12221-018-8621-1>
- Xu, Q., Ke, X., Cai, D., Zhang, Y., Fu, F., Endo, T., Liu, X., (2018). Silver-based, single-sided antibacterial cotton fabrics with improved durability via an l-cysteine binding effect. *Cellulose*, 25(3), 2129–2141. <https://doi:10.1007/s10570-018-1689-3>
- Xu, Q., Ke, X., Ge, N., Shen, L., Zhang, Y., Fu, F., Liu, X., (2018). Preparation of Copper Nanoparticles Coated Cotton Fabrics with Durable Antibacterial Properties. *Fibers and Polymers*, 19(5), 1004–1013. <https://doi:10.1007/s12221-018-8067-5>
- Vinoth, R., Karthik, P., Muthamizchelvan, C., Neppolian B., Ashokkumar M., (2016). Carrier separation and charge transport characteristics of reduced graphene oxide supported visible-light active photocatalysts, *Physical Chemistry Chemical Physics* 18, 5179-5191. <https://doi:10.1039/C5CP08041J>
- Yang, M., Liu, W., Jiang, C., He, S., Xie, Y., Wang, Z., (2018). Fabrication of superhydrophobic cotton fabric with fluorinated TiO<sub>2</sub> sol by a green and one-step sol-gel process. *Carbohydrate Polymers*, 197, 75–82. <https://doi:10.1016/j.carbpol.2018.05.075>
- Yang, M., Liu, W., Jiang, C., Xie, Y., Shi, H., Zhang, F., Wang, Z., (2019). Facile construction of robust superhydrophobic cotton textiles for effective UV protection, self-cleaning and oil-water separation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 570, 172 – 181. <https://doi:10.1016/j.colsurfa.2019.03.024>
- Yu, J., Pang, Z., Zheng, C., Zhou, T., Zhang, J., Zhou, H., Wei, Q., (2019). Cotton fabric finished by PANI/TiO<sub>2</sub> with multifunctions of conductivity, anti-ultraviolet and photocatalysis activity. *Applied Surface Science*, 470, 84–90. <https://doi:10.1016/j.apsusc.2018.11.112>
- Yuranova, T., Mosteo, R., Bandara, J., Laub, D., Kiwi, J., (2006). Self-cleaning cotton textiles surfaces modified by photoactive SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> coating. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 244(1-2), 160-167. <https://doi:10.1016/j.molcata.2005.08.059>
- Zhou, L., Wang, H., Du, J., Fu, J., Wang, W., (2018). Eco-friendly and Durable Antibacterial Cotton Fabrics Prepared with Polysulfopropylbetaine. *Fibers and Polymers*, 19(6), 1228–1236. <https://doi:10.1007/s12221-018-8053-y>

## Su Numunelerinde Spektrofotometrik Gadolinium Tayini

Zekeriyya BAHADIR<sup>1\*</sup>

### Öz

Bu çalışmada,  $Gd^{3+}$  iyonlarının tayini için, katyonik yüzey aktif madde olan heksadesiltrimetilamonyum bromür (HDAB) ve ksilen turuncusu indikatörünün kullanılabilirliği incelenmiştir. Geliştirilen metot için yüksek pH değerlerinde  $Gd^{3+}$  içeren sulu çözeltiye ksilen turuncusu ve HDAB ilave edilerek oluşan kompleksin absorbans değerleri spektrofotometre cihazı ile 250-750 nm aralığında okunmuştur. 580 nm de ksilen turuncusu- $Gd^{3+}$  kompleksi için elde edilen absorbans değerlerinin, ortama HDAB ilavesinden sonra 624 nm'ye kaydığı gözlemlenmiştir. Optimize şartlarda geliştirilen metodun, gadolinium için tayin sınırı  $120 \mu g L^{-1}$ , bağıl standart sapma %1,1 ve kalibrasyon aralığı ise  $150-800 \mu g L^{-1}$  olarak bulunmuştur. Metodun doğruluğu ise gerçek su numunelerine ekleme/geri kazanım testleriyle belirlenmiştir. %84-96 geri kazanım değerleriyle, geliştirilen metodun içme, dere ve hastane atık suyu numunelerinde gadolinium tayini için uygulanabileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Gadolinium, heksadesiltrimetilamonyum bromür, ksilen turuncusu, spektrofotometre.

## Spectrophotometric Determination of Gadolinium in Water Samples

### Abstract

In this study, the usability of the cationic surfactant hexadecyltrimethylammonium bromide (HDAB) and xylene orange indicator were investigated for the determination of  $Gd^{3+}$  ions. For the developed method, xylene orange and HDAB were added to the aqueous solution containing  $Gd^{3+}$  at high pH values, and the absorbance values of the complex formed with the spectrophotometer instrument were recorded in the range of 250-750 nm. It was observed that the absorbance values obtained for the xylene orange- $Gd^{3+}$  complex at 580 nm shifted to 624 nm after HDAB addition to the medium. The detection limit for gadolinium was  $120 \mu g L^{-1}$ , the relative standard deviation was 1.1%, and the calibration interval was  $150-800 \mu g L^{-1}$  for the method developed under optimized conditions. The accuracy of the method was determined by adding/recovering tests to real water samples. It has been observed that the developed method can be applied for the determination of gadolinium in drinking, stream, and hospital waste water samples, with recovery values of 84-96%.

**Keywords:** Gadolinium, hexadecyltrimethylammonium bromide, spectrophotometer, xylene orange.

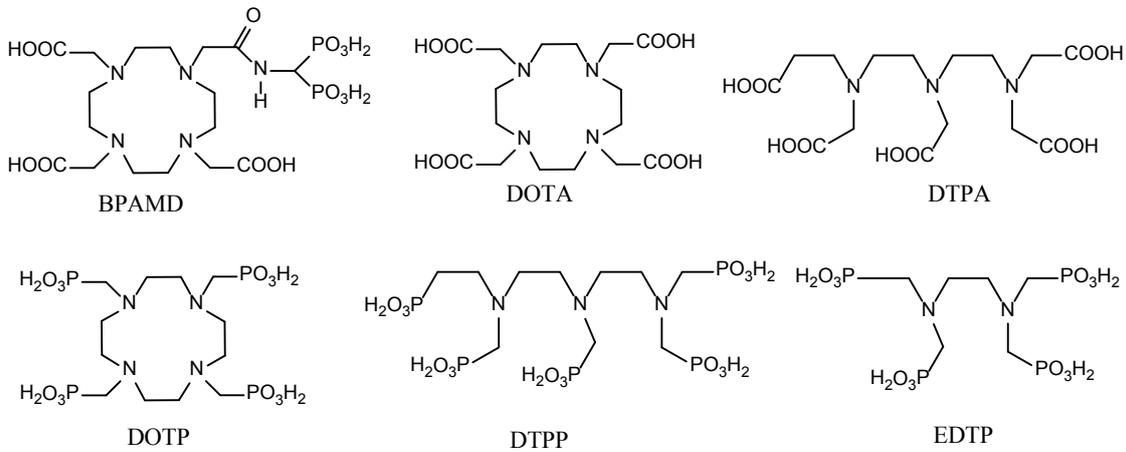
<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 28100, Giresun, Türkiye zekeriyya.bahadir@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7035-1258>



## 1. Giriş

Gadolinium (Gd), doğada monazit cevherlerinde eser miktarda bulunan, elektronik ve nükleer alanda kullanılan bir lantanit grubu elementidir. Tıpta, manyetik rezonans görüntüleme (MR) tekniğinde görüntü kalitesini arttırmak amacıyla kontrast madde olarak kullanılır (Darrah ve ark., 2009; Gibby ve ark., 2004). Serbest haldeki  $Gd^{3+}$  iyonlarının çeşitli organlarda birikme özelliği göstermesinden dolayı, MR uygulamalarında  $Gd^{3+}$  ile termodinamik açıdan sağlam ve kararlı kompleksler oluşturan poliaminokarboksilat ve fosfat türevi bileşikler kullanılır (Kubicek ve ark., 2005; Telgmann ve ark., 2013; Rodrigues ve ark., 2015). Medikal alanda kullanılan bu bileşiklerin bazıları şekil 1’de gösterilmiştir.



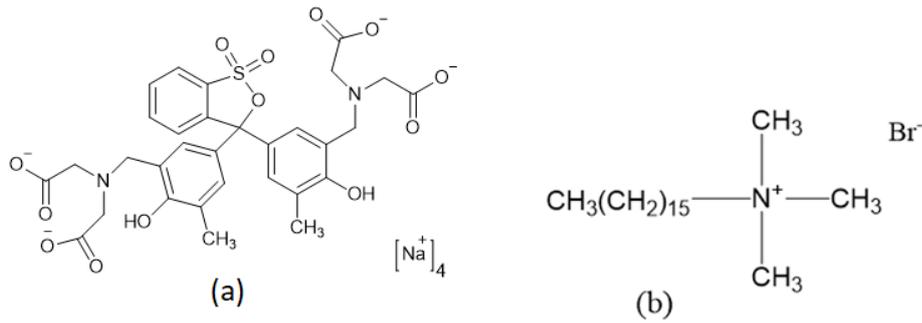
Şekil 1.  $Gd^{3+}$  iyonlarıyla kararlı kompleks oluşturan bazı bileşiklerin açık formülleri [3]. (BPAMD: 4- {[bis-(fosfonometil)karbamoyl]metil}-7,10-bis(karboksimetil)-1,4,7,10 tetraazasiklododek-1-il)asetik asit, DOTA: 1,4,7,10-tetraaza siklododekan- 1,4,7,10-tetra(asetik asit), DTPA: diethylenetriaminepentaacetic acid, DOTP: 1,4,7,10 tetraazasiklododekanetrakis(metilenfosfonik asit), DTPP: Dietilentriamin penta(metilen fosfonik asit), EDTP: Etilendiamin tetra(metilen fosfonik asit)).

Serbest haldeki  $Gd^{3+}$  iyonunun yarıçapı,  $Ca^{2+}$  iyonunun yarıçapı ile hemen hemen aynıdır. Bu benzerlik nedeniyle toksik etkiye sahip ağır  $Gd^{3+}$  iyonları, kalsiyum bağlayıcı enzimlere bağlanıp inhibisyona neden olabilir ve böylece enzimatik birçok reaksiyonu olumsuz yönde etkileyebilir (Salem ve Barrat, 2021; Rogosnitzky ve Branch, 2016; Brünjes ve Hofmann, 2020; Akgun ve ark., 2006). Medikal uygulamalarda, hastalara yüksek miktarlarda gadolinium bazlı ilaçlar verildiğinden çevreye önemli ölçüde gadolinium salınmaktadır. Bu nedenle özellikle çevresel su numunelerinde  $Gd^{3+}$  iyonlarının tayini büyük önem taşımaktadır.

Gadolinium iyonlarının su ve biyolojik örneklerde tayini için literatürde en çok kullanılan teknikler, indüktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) (Hennebrüder ve ark., 2004; Ortega ve ark., 2002) ve indüktif olarak eşleştirilmiş plazma optik emüsyon spektrometresi (ICP-OES) (Hassanien ve ark., 2016; Bendakovská ve ark., 2016) dir. Bu pahalı tekniklerin

yayında, basit ve sarfiyatı düşük olan ultraviyole görünür bölge spektrofotometresi,  $Gd^{3+}$  tayini için alternatif bir yöntem olarak da kullanılmaktadır (Aghamohammadhasan ve ark., 2017; Barge ve ark., 2006).  $Gd^{3+}$  iyonları, çevresel numunelerde birçok farklı iyon ve bileşiklerle birlikte bulunmaktadır. Matriks etkisi olarak adlandırılan bu durum, gadolinyum iyonlarının enstrümental tekniklerle direk tayinini oldukça zorlaştırmaktadır.  $Gd^{3+}$  iyonlarının matriks ortamından ayırmak ve zenginleştirilmesi amacıyla sıvı-faz ekstraksiyonu (Morais ve Mansur, 2014; Xuejuan ve Zhefeng, 2009; Mallah ve ark., 2010; Mallah ve ark., 2009) ve bulutlanma noktası ekstraksiyonu (Réguillon ve ark., 2011; Khalifa ve ark., 2019; Li ve Hu, 2010) yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada zenginleştirme ve ayırma yöntemleri kullanılmaksızın çevresel su örneklerinde  $Gd^{3+}$  iyonlarının tayini için yeni bir metot geliştirilmiştir. Ksilen turuncusu (indikatör, Şekil 2a) ve heksadesiltrimetilamonyum bromür (katyonik yüzey aktif madde, Şekil 2b) ve karışımının, yüksek pH değerlerinde  $Gd^{3+}$  iyonlarıyla oluşturduğu renkli kompleksin dalga boyu ve absorbans değerleri spektrofotometre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Geliştirilen yöntem, gadolinyum tayini için içme, dere ve hastane atık suyu örneklerine başarıyla uygulanmıştır.



Şekil 2. Ksilen turuncusu ve heksadesiltrimetilamonyum bromürün kimyasal açık formülleri.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Bu çalışmada indikatör olarak kullanılan ksilen turuncusu, katyonik yüzey aktif madde olan heksadesiltrimetilamonyum bromür (HDAB) ve gadolinyum(III)klorür heksahidrat ( $GdCl_3 \cdot 6H_2O$ ) tuzu Sigma Aldrich (St. Louis, Missouri, ABD) firmasından temin edilmiştir. Ksilen turuncusu ve HDAB çözeltileri etanol,  $GdCl_3 \cdot 6H_2O$  stok çözeltisi ise saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Tampon çözelti hazırlamak için kullanılan asetik asit, sodyum asetat, disodyum hidrojen fosfat, sodyum dihidrojen fosfat, amonyum klorür ve amonyak kimyasalları ise Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Çözeltilerin pH değerlerinin ayarlanması için Hanna (Woonsocket,

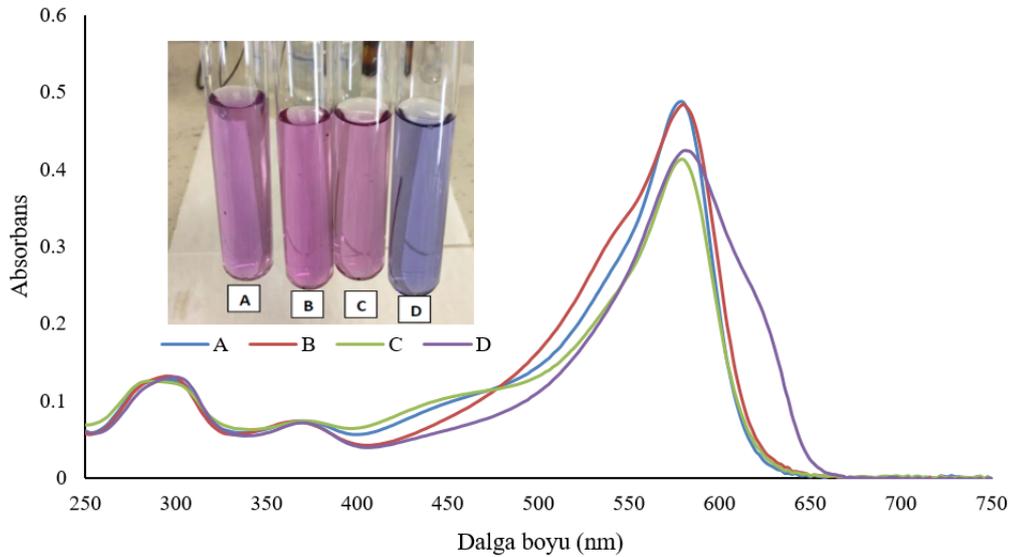
ABD) marka pH metre cihazı kullanılmıştır.  $Gd^{3+}$  iyonlarının tayini için gerekli spektrofotometrik ölçümler, Genesys 180 (Termo Fisher Scientific, Madison, ABD) marka spektrofotometre cihazı kullanılarak kaydedilmiştir. Deneyler boyunca kullanılan ultra saf su, Merck-Millipore Direct-Q® 8UV (Merck, Almanya) sisteminden temin edilmiştir.

## 2.2. Numunelerin Ölçüme Hazırlanması

Bu çalışmada,  $Gd^{3+}$  iyonlarının tayini için hastane atık suyu, içme ve dere suyu örnekleri kullanılmıştır. Atık su, İlhan Özdemir Eğitim Araştırma Hastanesi (Giresun) atık suyunun denize bağlantı kısmından temin edilmiştir. Dere suyu, Giresun Güre mevkiinden, içme suyu ise Giresun Üniversitesi kullanım suyundan temin edilmiştir. Tüm su numuneleri polipropilen kaplar ile toplanmış ve 0.45  $\mu m$  gözenekli membran filtreden süzülerek kullanılmıştır.

## 2.3. Geliştirilen Yöntem ve Bulgular

Bu çalışmada, sulu çözeltilerde gadolinyum iyonlarının direk tayini için yeni bir analitiksel metot geliştirilmiştir. Bu amaçla, 15 mL'lik falkon deney tüpüne 0,5 mL  $NH_3/NH_4Cl$  (pH=9 elde etmek için) tamponu ilave edilip, son hacim 10 mL'ye 0,5 mg  $L^{-1}$   $Gd^{3+}$  iyonları içerecek şekilde tamamlanmıştır. Daha sonra çözeltilere  $7.77 \times 10^{-4}$  mol  $L^{-1}$  ksilen turuncusu indikatöründen 200  $\mu L$  ve 0,001 mol  $L^{-1}$  HDAB'den 200  $\mu L$  ilave edilip çalkalanmış ve çözeltinin absorbans değerleri 250-750 nm aralığında spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Geliştirilen yöntem için kör denemeler de ayrıca çalışılmış ve sonuçlar Şekil 3'de gösterilmiştir.

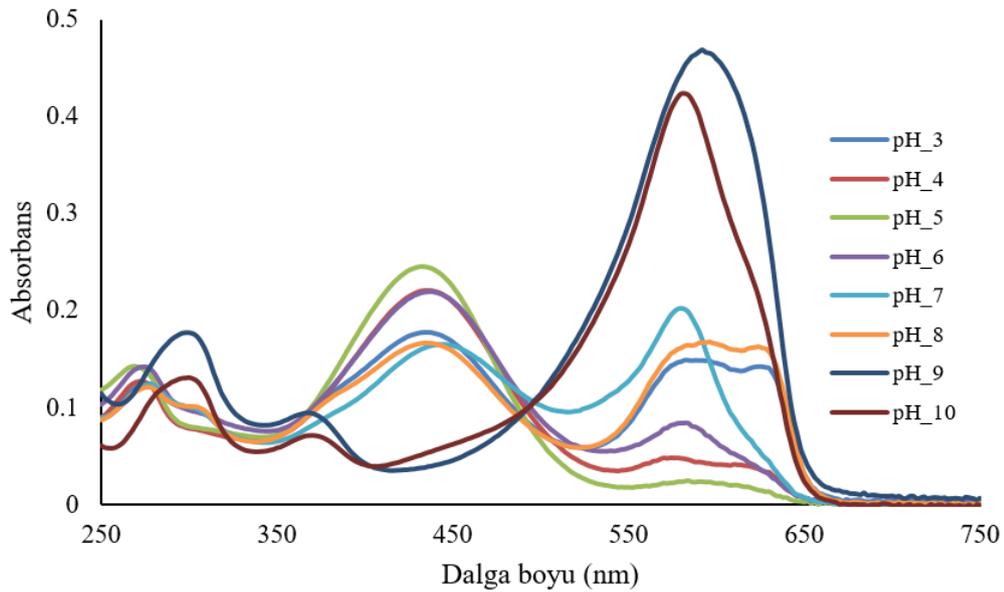


Şekil 3. Gadolinyum tayini için spektrofotometrik ölçümler ve çözeltilerdeki renk değişimleri.

Şekil 3’de, A harfi ile kodlanan pembe renkli çözelti (pH=9) yalnızca ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>) içermektedir ve maksimum absorbans verdiği dalga boyunun 576 nm olduğu görülmektedir. B harfi ile kodlanan pembe renkli çözelti (pH=9) ise ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>) ve  $0,5$  mg L<sup>-1</sup> Gd<sup>3+</sup> içermektedir. Bu çözelti için maksimum absorbans değerinin de 576 nm olduğu görülmektedir. C harfi ile kodlanan pembe renkli çözelti (pH=9) ise ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>) ve heksadesiltrimetilamonyum bromür ( $0,001$  mol L<sup>-1</sup>) içermektedir. Bu çözelti için de maksimum absorbans değerinin 576 nm olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, A-B-C çözeltileri için elde edilen spektrumların benzer olduğu görülmektedir. D harfi ile kodlanan çözelti (pH=9) ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>), heksadesiltrimetilamonyum bromür ( $0,001$  mol L<sup>-1</sup>) ve  $0,5$  mg L<sup>-1</sup> Gd<sup>3+</sup> içermektedir. Ortama HDAB ( $0,001$  mol L<sup>-1</sup>) ilave edildiğinde, çözeltinin pembe renginin violet rengine döndüğü ve 624 nm’de yeni ve güçlü bir dalga boyu oluştuğu görülmektedir. Bu nedenle, geliştirilen bu metot ile Gd<sup>3+</sup> iyonlarının sulu çözeltilerde tayini için 624 nm dalga boyu optimum olarak kaydedilmiştir.

#### 2.4. pH Etkisi

Bu çalışmada, Gd<sup>3+</sup> iyonlarının tayini için optimum pH değeri incelenmiştir. Bu amaçla  $0,5$  mg L<sup>-1</sup> Gd<sup>3+</sup> içeren 10 mL model çözeltinin çözeltinin pH değerleri tampon çözeltiler kullanılarak ayarlanmıştır. Daha sonra, her bir çözeltiliye ksilen turuncusu ve HDAB ilave edilmiş ve spektrofotometrik ölçümler Şekil 4’de gösterilmiştir.

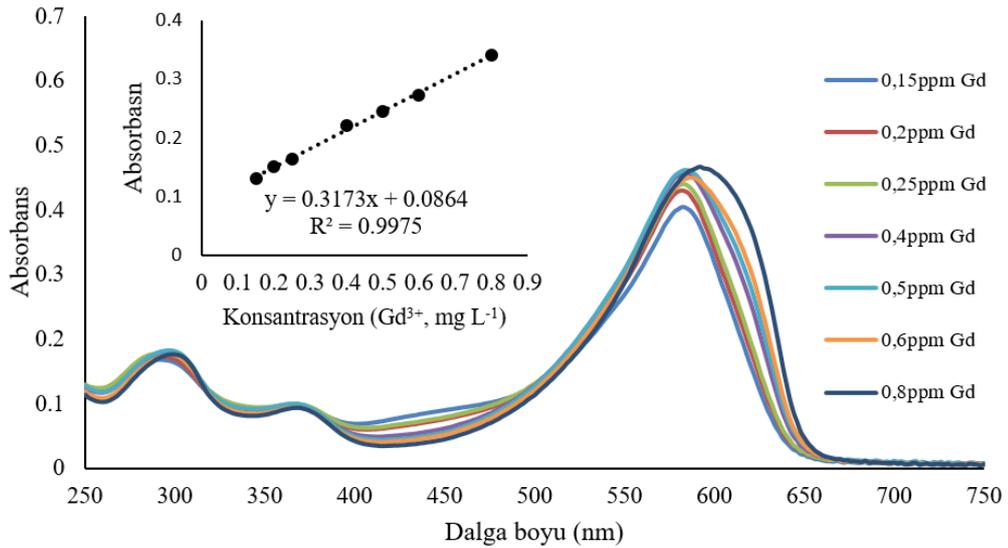


Şekil 4. Çözelti pH değerinin Gd<sup>3+</sup> tayini üzerine etkisi. Deneysel koşullar: Deneysel koşullar: 10 mL su örneği,  $0,5$  mg L<sup>-1</sup> Gd<sup>3+</sup>,  $200$  µL ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>),  $200$  µL HDAB ( $0,001$  mol L<sup>-1</sup>).

Şekil 4’de görüldüğü üzere,  $Gd^{3+}$  için 624 nm en yüksek absorpsiyon değerlerinin pH=9 ve pH=10’da alınmıştır. Gerçek numunelerde, yüksek pH değerlerinde iyon ve moleküllerde çökme eğilimi olması ihtimaline karşı bu çalışmada optimum pH değeri 9 olarak seçilmiştir.

## 2.5. Geliştirilen Metodun Analitik Performans Değerleri

$Gd^{3+}$  iyonlarının tayini için geliştirilen metodun analitiksel performans değerleri bağıl standart sapma, tayin sınırı ve kalibrasyon aralığı (Şekil 5) yönünden incelenmiştir.



Şekil 5.  $Gd^{3+}$  iyonlarının tayini için geliştirilen metodun kalibrasyon değerleri. Deneysel koşullar: 10 mL su örneği, pH=9, 200  $\mu L$  ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4} mol L^{-1}$ ), 200  $\mu L$  HDAB ( $0,001 mol L^{-1}$ ).

Metodun bağıl standart sapması, 10 mL  $0,5 mg L^{-1} Gd^{3+}$  içeren çözeltiye geliştirilen metodunun 10 kez uygulanmasıyla % 1,1 olarak hesaplanmıştır. Metodun kalibrasyonu, 150-800  $\mu g L^{-1}$  ( $Gd^{3+}$ ) aralığında doğrusal olarak ( $R^2=0.9975$ ) kaydedilmiştir. Tayin sınırı (TS) ise,

$$TS = 10x \frac{s}{m} \quad (1)$$

formülüyle  $120 \mu g L^{-1} Gd^{3+}$  olarak hesaplanmıştır. Formüldeki  $s$  değeri, geliştirilen metod için içeriğinde gadolinyum bulunmayan çözeltinin absorpsiyon değerlerinin standart sapmasını ifade ederken;  $m$  değeri ise kalibrasyon eğrisinin eğimini ifade etmektedir.

## 2.6. Gerçek Numune Uygulaması

Gadolinium tayini için geliştirilen metot, optimize edildikten sonra gerçek su numunelerine uygulanmıştır. Bölüm 2.2 de anlatıldığı gibi ölçüm için hazırlanan içme, dere ve atık suyu örneklerine  $250 \mu\text{g L}^{-1}$  ve  $500 \mu\text{g L}^{-1}$   $\text{Gd}^{3+}$  iyonları ilave edilip, geliştirilen metot bu su numunelerine uygulanmıştır. Daha sonra metodun uygulandığı tüm su numunelerinin spektrumları okunmuş ve  $624 \text{ nm}$ 'deki absorbans değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Ekleme/geri kazanım yöntemiyle gerçek su numunelerinde gadolinium iyonlarının belirlenmesi. Deneysel koşullar:  $10 \text{ mL}$  su örneği,  $\text{pH}=9$ ,  $200 \mu\text{L}$  ksilen turuncusu ( $7,77 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ),  $200 \mu\text{L}$  HDAB ( $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ ). Geri kazanım değerlerinin standart sapmaları, geliştirilen metodun gerçek numunelere üç tekrar deneyin uygulanması ve ile hesaplanmıştır.

Örnek	Eklene n $\text{Gd}^{3+}$ ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 1)	Ölçülen $\text{Gd}^{3+}$ ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	(%) Geri kazanım
İçme suyu	0	T.S.A	-
	250	240	$96 \pm 2$
	500	470	$94 \pm 2$
Dere suyu	0	T.S.A	-
	250	230	$92 \pm 1$
	500	450	$90 \pm 1$
Atık su	0	T.S.A	-
	250	215	$86 \pm 1$
	500	420	$84 \pm 1$

T.S.A: Tayin sınırının altında.

## 3. Sonuç

Gadolinium, özellikle medikal alanda manyetik görüntüleme amacıyla en çok kullanılan elementlerden biridir. Serbest haldeki  $\text{Gd}^{3+}$  iyonlarının toksik etkiye sahip olması nedeniyle, görüntüleme kontrast ajanı olarak gadolinium kompleksleri kullanılır. Geniş kullanım alanı dikkate alındığında çevresel numunelerde gadolinium konsantrasyonunun tespiti büyük önem taşımaktadır. Literatür çalışmaları incelendiğinde, gadolinium tayini için yeni ve basit metotların geliştirilmesinin gerektiği görülmektedir. Bu çalışmada çevresel numunelerde serbest halde bulunabilecek  $\text{Gd}^{3+}$  iyonlarının tayini için basit ve hızlı bir spektrofotometrik yöntem geliştirilmiştir. Yüksek pH değerlerinde ksilen turuncusu ve heksadesiltrimetilamonyum bromürün  $\text{Gd}^{3+}$  ile oluşturduğu kompleksin incelenmesi esasına dayanan bu yeni metot, ön bir zenginleştirme işlemine ihtiyaç duymaması açısından oldukça avantajlıdır. Optimize edilen bu yeni metot, içme, dere ve hastane atık suyu örneklerinde  $\text{Gd}^{3+}$  iyonlarının tayini için başarıyla uygulanmıştır.

## Tesekkür

Bu çalışma, Giresun Üniversitesi (Proje no: FEN-BAP-A-270220-23) Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Aghamohammadhasan, M., Ghashamsham, V., Ghorbani, M., Chamsaz, M., Masrournia, M., Pedramrad, T., and Akhlaghi, H. (2017). Preconcentration of Gadolinium Ion by Solidification of Floating Organic Drop Microextraction and Its Determination by UV-Vis Spectrophotometry. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 12, 1621-1629.
- Akgun, H., Gonlusen, G., Joiner, J. C., Suki, W. N., and Truong, L. D. (2006). Are gadolinium- based contrast media nephrotoxic?: a renal biopsy study. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 130, 1354-1357.
- Barge, A., Cravotto, G., Gianolio, E., and Fedeli, F. (2006). How to determine free Gd and free ligand in solution of Gd chelates. A technical note. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 1, 184-188.
- Bendakovská, L., Krejčová, A., Černohorský, T., and Zelenková, J. (2016). Development of ICP-MS and ICP-OES methods for determination of gadolinium in samples related to hospital waste water treatment. *Chemical Papers*, 70, 1155-1165.
- Brünjes, R., and Hofmann, T. (2020). Anthropogenic gadolinium in freshwater and drinking water systems. *Water Research*, 182, 115966.
- Darrah, T. H., Prutsman-Pfeiffer, J. J., Poreda, R. J., Campbell, M. E., Hauschka, P. V., and Hannigan, R.E. (2009). Incorporation of excess gadolinium into human bone from medical contrast agents. *Metallomics*, 1, 479-488.
- Gibby, W. A., Gibby, K. A., and Kubucek, W. A. (2004). Comparison of Gd DTPA-BMA (Omniscan) versus Gd HP-DO3A (ProHance) Retention in Human Bone Tissue by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy. *Investigative Radiology*, 39, 138-142.
- Hassanien, M. M., Kenawy, I. M. M., Khalifa, M. E., and Elnagar, M. M. (2016). Mixed micelle-mediated extraction approach for matrix elimination and separation of some rare earth elements. *Microchemical Journal*, 127, 125-132.
- Hennebrüder, K., Wennrich, R., Mattusch, J., Stärk, H. -J., and Engewald, W. (2004). Determination of gadolinium in river water by SPE preconcentration and ICP-MS. *Talanta*, 63, 309-316.
- Khalifa, M. E., Mortada, W. I., El-defrawy, M. M., and Awad, A. A. (2019). Selective separation of gadolinium from a series of f-block elements by cloud point extraction and its application for analysis of real samples. *Microchemical Journal*, 151, 104214.
- Kubicek, V., Rudovsky, J., Kotek J., Hermann P., Elst, L. V., Muller, R. N., Kolar, Z. I., Wolterbeek, H. Th., Peters, J. A., and Lukes, I. (2005). A Bisphosphonate Monoamide Analogue of DOTA: A Potential Agent for Bone Targeting. *Journal of the American Chemical Society*, 127, 16477-16485.
- Li, Y., and Hu, B. (2010). Cloud point extraction with/without chelating agent on-line coupled with inductively coupled plasma optical emission spectrometry for the determination of trace rare earth elements in biological samples. *Journal of Hazardous Materials*, 174 (1-3), 534-540.
- Mallah, M. H., Shemirani, F., and Maragheh, M. G. (2009). Ionic Liquids for Simultaneous Preconcentration of Some Lanthanoids Using Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Technique in Uranium Dioxide Powder. *Environmental Science & Technology*, 43, 1947-1951.
- Mallah, M. H., Shemirani, F., Maragheh, M. G., and Jamali, M. R. (2010). Evaluation of synergism in dispersive liquid-liquid microextraction for simultaneous preconcentration of some lanthanoids. *Journal of Molecular Liquids*, 151, 122-124.

- Morais, C. A. de., and Mansur, M. B. (2014). Solvent extraction of gadolinium (III) from hydrochloric acid solutions with cationic extractants D2EHPA and Ionquest 801. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 123, 61-66.
- Ortega, C., Gomez, M. R., Olsina, R. A., Silva, M. F., and Martinez, L. D. (2002). On-line cloud point preconcentration and determination of gadolinium in urine using flow injection inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 17, 530-533.
- Réguillon, A. F., Murat, D., and Draye, M. (2011). Study on the Cloud Point Extraction of Gd(III) with 8-Hydroxyquinoline. *Separation Science and Technology*, 46(4), 611-615.
- Rodrigues, D. G., Dacheux, N., Rostaing, S. P., Faur, C., Bouyer, D., and Monge, S. (2015). The first report on phosphonate-based homopolymers combining both chelating and thermosensitive properties of gadolinium: synthesis and evaluation. *Polymer Chemistry*, 6(29), 5264-5272.
- Rogosnitzky, M., and Branch, S. (2016). Gadolinium-based contrast agent toxicity: a review of known and proposed mechanisms. *Biometals*, 29, 365-376.
- Salem, D. B., and Barrat, J.-A. (2021). Determination of rare earth elements in gadolinium-based contrast agents by ICP-MS. *Talanta*, 221, 121589.
- Telgmann, L., Sperling, M., and Karst, U. (2013). Determination of gadolinium-based MRI contrast agents in biological and environmental samples: A review. *Analytica Chimica Acta*, 764, 1-16.
- Xuejuan, L., and Zhefeng, F. (2009). Liquid-Liquid-Liquid Micro Extraction Combined with CE for the Determination of Rare Earth Elements in Water Samples. *Chromatographia*, 70, 481-487.



## Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden Örneklenmiş Olan Sazan Balığı (*Cyprinus carpio* L., 1758)' nın Otolit Şekil ve Biyometrisindeki Varyasyonlar

Aykut AYDIN<sup>1</sup>, Melek OZPİCAK<sup>2\*</sup>, Semra SAYGIN<sup>3</sup>, Enes HANCER<sup>4</sup>, Savas YILMAZ<sup>5</sup>, Nazmi POLAT<sup>6</sup>

### Öz

Bu çalışmanın amacı; Samsun ilindeki Altinkaya Baraj Gölü (ABG) ve Bafra Balık Gölleri (BBG)'nden elde edilen *Cyprinus carpio* örneklerinin otolitlerinin morfolojik özellikleri, otolit özellikleri-balık boyu arasındaki ilişkileri ve otolit şekil indekslerinin analiz edilerek lokaliteler arasındaki varyasyonların saptanmasıdır. Gerçekleştirilen analizlerde toplamda 109 (Altinkaya Baraj Gölü (N=59) ve Bafra Balık Gölleri'nde (N=50)) birey değerlendirilmiştir. İki lokalite için de otolit özelliklerinin belirlenmesi amacıyla asteriskusların otolit boyu (OB), otolit yüksekliği (OY), otolit alanı (OA), otolit çevresi (OÇ) ve otolit ağırlığı (OW) parametreleri ölçülmüş, total boy ile olan ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarına göre, otolit değişkenleri ile total boy arasındaki ilişkiler oldukça önemli çıkmıştır ( $P<0,001$ ). ABG popülasyonunda  $TB-OW$  ( $r^2>0,633$ ), BBG'de ise  $TB-OÇ$  ( $r^2>0,945$ ) arasındaki ilişki diğer ilişkilerinden daha kuvvetli olarak belirlenmiştir. ABG ve BBG popülasyonları için şekil faktörü, yuvarlaklık, dairesellik, dikdörtgensellik, ovallık ve boy-yükseklik oranı indeksleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. ABG ve BBG popülasyonlarının otolit şekil indekslerini karşılaştırdığımızda yapılan analizler sonucunda; şekil faktörü ( $P<0,001$ ), yuvarlaklık ( $P<0,05$ ) ve dairesellik ( $P<0,001$ ) ölçümlerinin önemli derecede farklı olduğu tespit edilmiştir. Ancak dikdörtgensellik, ovallık ve boy-yükseklik oranı ölçümlerinde fark bulunmamıştır. Bu çalışma Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden örneklenen sazan balığının otolit özelliklerinin incelendiği ilk çalışma olma niteliğindedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Cyprinus carpio*, otolit, şekil indeksleri, morfolometri

## Variations in Otolith Shape and Biometry of Common Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) Sampled from Altinkaya Dam Lake and Bafra Fish Lakes

### Abstract

The aim of this study is to determine the variations between localities by analyzing the otolith morphometry, otolith morphometrics-fish length relationships and otolith shape indices of *Cyprinus carpio* samples obtained from Altinkaya Dam Lake (ABG) and Bafra Fish Lakes (BBG) in Samsun Province. A total of 109 (Altinkaya Dam Lake (N=59) and Bafra Fish Lakes (N=50)) individuals In the, were evaluated in the analyses. In order to determine the otolith characteristics for both localities, the otolith length (OL), otolith height (OH), otolith area (OA), otolith perimeter (OP) and otolith weight (OW) parameters of the asteriscus were measured, and relationships between the total length was determined. According to the results of the regression analysis, the relationships between otolith characteristics and total length were significantly important ( $P<0.001$ ). The relationship between  $TB-OW$  ( $r^2>0.633$ ) in the ABG population and  $TB-OP$  ( $r^2>0.945$ ) in BBG was determined to be stronger than the other relationships. Form factor, roundness, circularity, rectangularity, ellipticity and aspect ratio indices were calculated separately for ABG and BBG populations. As a result of the analyzes made when we compared the otolith shape indices of ABG and BBG populations; shape factor ( $P<0.001$ ), roundness ( $P<0.05$ ) and circularity ( $P<0.001$ ) measurements were found to be significantly different. However, no difference was found in the measurements of rectangularity, ellipticity and aspect ratio. This is the first study to examine the otolith characteristics of common carp sampled from Altinkaya Dam Lake and Bafra Fish Lakes.

**Keywords:** *Cyprinus carpio*, otolith, shape indices, morphometry

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Samsun, Türkiye, aykutaydn55@gmail.com, melek.zengin@omu.edu.tr, semra.saygin@omu.edu.tr, hancer.enes@gmail.com, savas.yilmaz@omu.edu.tr, npolat@omu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5222-0353>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3506-4242>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-3249-5074>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-8688-4588>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-2859-4886>

<sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0001-9785-9927>

## 1. Giriş

Sazan balığı (*Cyprinus carpio* L., 1758) yayılış gösterdiği alanların çoğunda yüksek bir ekonomik değere sahiptir. Genellikle avlandığı bölge içerisinde sevilerek tüketilen sazan balıkları, ülkemiz iç su balıkçılığı denilince akla gelen balık türlerinin başındadır. Ayrıca yüksek et verimi, ortama kolay adapte olmaları ve kolay üretim gibi avantajlar, sazan balığına ekonomik bir değer katmaktadır (Demirkalp, 1992). Sazanların geniş dağılımı genellikle değişken çevresel koşullara olan yüksek toleranslarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, Avrupa, Avustralya ve Kuzey Amerika dahil olmak üzere dünya çapında birçok yerde sazan popülasyonları görülmektedir (Nelson, 2006). Bu bağlamda hem tarihsel hem de coğrafi açıdan en çok incelenen tatlısu balık türlerinden biri olarak değerlendirilmeleri hiç de şaşırtıcı değildir (Vilizzi ve Copp, 2017).

Balıklarda iç kulakta yer alan otolitler hem günlük hem de yıllık büyüme bilgilerini içermesi ile ve yaş belirlemeye olanak sağladıkları için hayvanlar aleminde emsalsizdir (Campana ve Thorrold, 2001). Dolayısıyla otolitler balıkların yaşam hikâyelerinin kayıt altına alındığı ve birçok çalışmada kullanılan oldukça önemli yapılardır (Zengin ve ark., 2015). Otolitler yaş tayini, büyüme parametrelerinin hesaplanması, popülasyon dinamikleri, otolit morfolojisi ve otolit şekil analizleri gibi farklı çalışmalarda kullanılırlar. Boyut, şekil ve otolit karakteristikleri türler arasında değişmektedir ve otolitin morfolojik tanımlamaları bazı ihtiyolojik taksaların karakterizasyonunu tanımlayan bilgiler sağlamaktadır (Tuset ve ark., 2008). Otolit biyometrisi için kullanılan otolitlerin büyüklük ve şekilleri türden türe değişiklikler gösterir ve hatta bir türün ırklarında bile büyük değişiklikler gösterir.

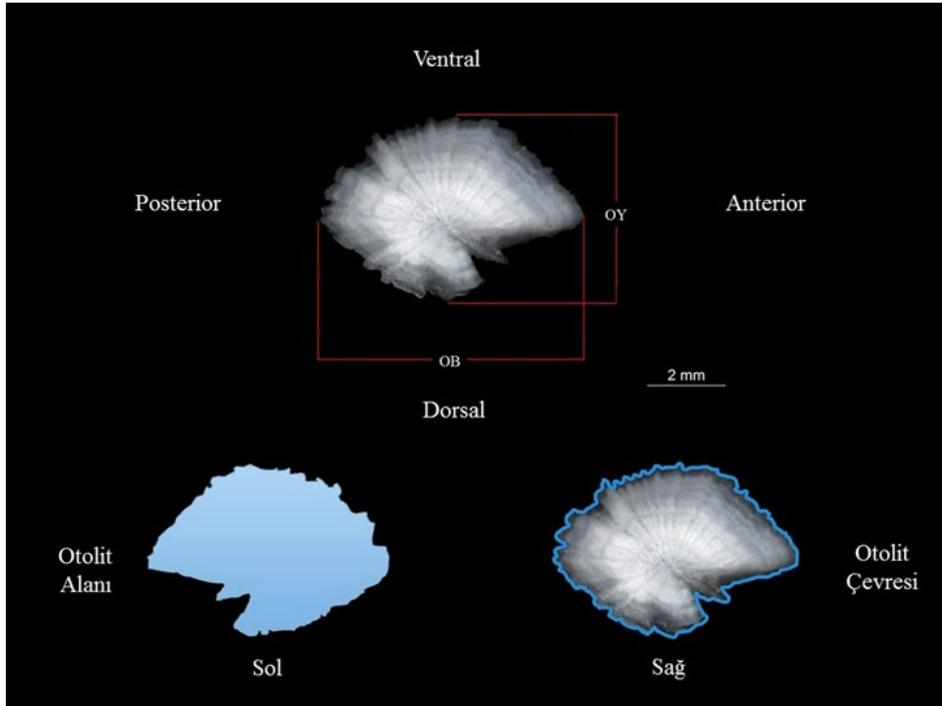
Son yıllarda görüntüleme sistemlerindeki gelişmelerin etkisiyle otolit morfolojisi ve biyometrisi ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Otolit boyu (*OB*), genişliği (*OG*), alanı (*OA*) ve çevresi (*OÇ*) gibi ölçümler yeni görüntüleme sistemleriyle birlikte analizleri kolayca yapılmakta ve otolitlerin şekil analizleri olan şekil faktörü, yuvarlaklık, boy-yükseklik oranı (Zorica ve ark., 2010), dikdörtgensellik (Tuset ve ark., 2008), ovallık (Tuset ve ark., 2003a) gibi otolit özellikleri morfolojik olarak belirlenmektedir. Otolit biyometrisi-balık boyu ilişkisi ve otolit şekil indeksleri farklı balık türleri için birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Skeljo ve Ferri, 2012; Zengin ve ark., 2015; Dehghani ve ark., 2016; Sayın ve Çalta, 2017; Kurucu ve Bostancı, 2018; Zengin Özpiçak vd, 2018; Emre, 2020; Saygın ve ark., 2020; Khan ve ark., 2022). Bu konuda ülkemizde de farklı su kaynaklarında yaşayan değişik balık türlerinin otolit özellikleri üzerine yapılmış çok sayıda araştırma mevcuttur (Samsun ve Samsun, 2006; Bostancı ve ark., 2012; Düşükcan ve ark., 2015; Konaş ve Bostancı, 2015; Sayın ve Çalta, 2017, Özpiçak et al., 2018).

Bu çalışmanın amacı; Samsun ilindeki Altınkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden elde edilen sazan balıklarının otolitlerinin morfolojik özelliklerinin analiz edilerek lokaliteler arasındaki

varyasyonların saptanmasıdır. Ayrıca otolit morfometri özellikleri ve şekil indeks değerleri bir arada değerlendirilerek; aynı türe ait balıkların farklı lokalitelerde yaşayan populasyonlarındaki değişimlerin ortaya çıkarılması ve de otolit morfometrik özellikleri-balık boyu arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

Sazan balığı örnekleri, Altinkaya Baraj Gölü (N=59) ve Bafra Balık Gölleri'nde (N=50) avcılık yapan balıkçılardan Mart 2017-Mart 2018 tarihleri arasında ticari olarak satın alınmıştır. Her bir balığın total, çatal ve standart boyları ölçülüp ( $\pm 0,1$  cm), ağırlıkları ( $\pm 0,01$  g) alınmıştır ve gonadları makroskobik olarak incelenmiştir. Örneklerden çıkarılan asteriskus otolitlerinin ağırlıkları (*OW*) Presicia marka hassas terazi kullanılarak ( $\pm 0,0001$  g) sağ ve sol otolitler için ayrı ayrı tartılmıştır. Ağırlıkları alınan tüm otolitlerin distal yüzeyinden Leica S8APO marka mikroskoba bağlı Leica DFC295 dijital kamera ile fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 1). Otolit boyu (*OB*), otolit yüksekliği (*OY*), otolit çevresi (*OÇ*) ve otolit alanı (*OA*) Leica Application Suit ver. 3.8 Görüntü Analiz Programı kullanılarak ölçülmüştür. *OB*, *OY* ve *OÇ*'nin ölçümünde  $\pm 0,001$  mm hassasiyet, *OA*'nın ölçümünde ise  $\pm 0,001$  mm<sup>2</sup> hassasiyet kullanılmıştır. Otolitin anterior ve posterior kenarları arasındaki en uzun mesafe *OB*, dorsal ve ventral kenarları arasındaki en uzun mesafe *OY* (Battaglia ve ark., 2010), otolit tüm kenarlarının toplam uzunluğu *OÇ* ve otolit yüzey alanı ise *OA* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. *C. carpio* asteriskus otolitinde distal görünüm ve ölçümler (OB: otolit boyu, OY: otolit yüksekliği)

Otolit ölçümleri (*TB-OB*, *TB-OY*, *TB-OA*, *TB-OÇ*, *TB-OW*) ile balık total boyu arasındaki ilişkileri açıklayacak modelin seçimi amacıyla doğrusal ( $y=a+bx$ ) ve üssel regresyon ( $y=ax^b$ ) modelleri denenmiştir (Zar, 1999). Dişi ve erkek bireylerin total boy bakımından aralarında fark olup olmadığı t testi ile tespit edilmiştir. Ayrıca, tüm bireylerin sağ ve sol otolitlerinin değişkenleri arasında fark varlığı ya da yokluğu ayrı ayrı bağımsız örneklem t testi (Paired t) ile belirlenmiştir. Bu testler sonucu sağ ve sol otolit arasında fark olmadığı belirlenen habitatta sağ otolit tercih edilmiş, fark bulunan durumda ise sağ ve sol otolitler çizelgede ayrı ayrı gösterilmiştir. İstatistiksel analizlerde MİNİTAB 15.0, SPSS 20.0 ve Microsoft Exel paket programlarından yararlanılmıştır.

Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'ne ait sazan populasyonları balık boyu ve ağırlığı bakımından birbirlerinden anlamlı derecede farklı oldukları için iki populasyonun otolit ölçümleri karşılaştırılırken tüm veriler aşağıdaki formülle standardize edilmiştir.

$$Z_{ij} = Y_{ij} [X_0/X_j] b_j \quad (1)$$

$Z_{ij}$ : j balığının i. otolit ölçümünün standardize değeri

$Y_{ij}$ : j balığının i. otolit ölçüm değeri

$X_0$ : Referans olarak kullanılan total boy

$X_j$ : j bireyinin total boyu

$b_j$ : Ölçümler ile total boy arasındaki ilişkinin b değeri (Lombarte ve Lleonart, 1993).

Şekil analizlerinde otolit üzerinden alınan otolitlerin boy (*OB*), yükseklik (*OY*), ağırlık (*OW*), çevre (*OÇ*) ve alan (*OA*) ölçümlerinden faydalanılmıştır. Altı farklı şekil indeks değerleri; şekil faktörü ( $(4\pi OA)/OÇ^2$ ), yuvarlaklık ( $(4OA)/(\pi OB^2)$ ), dairesellik ( $OÇ^2/OA$ ), dikdörtgensellik  $OA/(OÇ*OY)$ , ovallik  $(OB - OH) / (OB + OH)$  ve boy-yükseklik oranı ( $OB/OY$ ) hesaplanmıştır (Tuset ve ark., 2003a).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Altinkaya Baraj Gölü sazan populasyonunda otolit boyu, yüksekliği, alanı ve çevresi için sağ ve sol otolitler arasında fark bulunmazken ( $P>0.05$ ), otolit ağırlığı sağ ve sol otolitler bakımından farklı bulunmuştur ( $P<0,05$ ). Ayrıca populasyonun dişi-erkek karşılaştırmasında sağ ve sol otolitler arasında hiçbir değişken bakımından istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ( $P>0,05$ ). Bafra Balık Gölü populasyonu değerlendirildiğinde ise tüm değişkenlerde hem sağ-sol hem dişi-erkek arasında testler sonucu fark gözlemlenmemiştir ( $P>0,05$ ). Bu durum, BBG populasyonu için sazan türü ile ilgili yapılacak yeni araştırmalarda otolitlerin birbirinden ayırt edilmeden, sağ veya sol otolit çiftinden herhangi birisinin tercihinin yapılabileceğini göstermektedir. Benzer olarak Sayın ve Çalta (2017), Keban Baraj Gölü'nde aynalı sazanlar ile yaptığı çalışmalarında aynı durumu belirtmişlerdir. Bazı farklı balık türlerinde sağ ve sol otolitlerin morfometrisinde anlamlı bir farkın olmadığını gösteren

bulgular mevcuttur (Jawad ve ark., 2011; Bostancı ve ark., 2012; Atılğan ve ark., 2012; Denghani ve ark., 2016; Bilge ve Filiz, 2018; Emre, 2022). Ancak ABG populasyonunda sağ ve sol otolit ağırlıkları istatistiksel olarak farklı olduğu için ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Bazı çalışmalarda asimetrik yassı balıkların otolit morfometrileri arasında anlamlı farklar bulunduğu belirtilmiştir (Bostancı ve Polat, 2007; Bostancı ve Polat, 2008).

İki örneklemin otolit ölçümleri ile total balık boyu arasındaki ilişki denklemlerinin belirlenmesi için kullanılan doğrusal ve üssel regresyon analizleri sonucu; bulunan ilişki çeşitleri, denklem sabitleri (kesişim ve eğim), ilişkinin kuvvetini gösteren korelasyon katsayıları ve ilişkinin önemliliğini gösteren  $P$  değeri Tablo 2-3'te gösterilmiştir. Otolit boyutları-balık ölçümleri arasındaki ilişkilerin tanımlanmasında genellikle doğrusal fonksiyonlar tercih edilmektedir. Ancak Campana (2004), bu tip ilişkilerin daima doğrusal regresyonla açıklanamayacağını ifade etmiştir. Altınkaya Baraj Gölü örneklerinin otolit ölçümleri ( $OB$ ,  $OY$ ,  $OÇ$ ,  $OA$  ve  $OW$ ) ve total balık boyu ilişkileri doğrusal regresyon ilişkiler gösterirken, en kuvvetli ilişkiyi otolit ağırlığıyla ( $OW$ ) total balık boyu ilişkisi göstermiştir ( $r^2=0,682$ ). Farklı habitatlarda benzer olarak (Eroğlu ve Şen, 2009; Başusta ve ark., 2013; Battaglia ve ark., 2015; Sayın ve Çalta, 2017) çalışmalarında doğrusal regresyon ilişkisini kullanmışlardır. Bafra Balık Gölleri'nde ise Altınkaya'nın aksine kuvvetli üssel (Power) ilişkiler görülmüştür. En yüksek korelasyon katsayısı total balık boyu ile otolit alanı ( $OA$ ) arasında tespit edilmiştir ( $r^2=0,945$ ). Ayrıca her iki lokalite içinde balık boyu ve otolit morfometrik ölçümleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak son derece önemli olduğu saptanmıştır ( $P<0,001$ ). Farklı lokalitelerde gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda da üssel ilişkinin balık boyu-otolit ölçümleri arasındaki ilişkileri daha kuvvetli açıkladığı sonuçlarına varılmıştır (Yılmaz ve ark., 2014; Zengin Özpiçak ve ark., 2018). Bu sonuçlara göre sazan balıklarının boyunun belirlenmesinde kullanılacak en ideal otolit ölçüm değeri ABG populasyonu için otolit ağırlığı (Bostancı ve ark., 2012; Zengin ve ark., 2017), BBG populasyonu için ise otolit alanı ve otolit yüksekliği (Kumar ve ark., 2017) olarak saptanmıştır. İki populasyon arasında otolit boyu ve otolit alanı arasında bir fark bulunmazken, otolit çevresi, otolit yüksekliği ve otolit ağırlığı bakımından fark tespit edilmiştir.

ABG populasyonu için şekil faktörü, yuvarlaklık, dairesellik, dikdörtgensellik, ovallık ve boy-yükseklik oranı indekslerinin genel ortalama değerleri sırasıyla 0,416, 0,507, 30,625, 12,659, 0,194 ve 1,484 olarak, BBG populasyonunda ise sırasıyla 0,496, 0,525, 25,599, 12,273, 0,189 ve 1,467 olarak hesaplanmıştır. Otolit şekilleri türe özgüdür ve türden türe farklılıklar gösterirler, bu durum birçok araştırmada ortaya çıkarılmıştır (DeVries ve ark., 2002; Tuset ve ark., 2006; Morat ve ark., 2008; Zorica ve ark., 2010). Şekil analizi klasik tekniklere göre oldukça avantajlıdır, bunun temel sebebi ilk olarak daha kolay uygulanmasıdır (Reddin ve ark., 1988). Daha önce farklı türlerin şekil indeks değerlerinin incelendiği birçok araştırma bulunmaktadır (Tuset ve ark., 2003b; Burke ve ark., 2008; Sadighzadeh ve ark., 2014; Zengin ve ark., 2015; Saygın ve ark., 2017; Zengin ve ark., 2017;

Zengin Özpiçak ve ark., 2018; Özpiçak, 2020). Otolit şekil indekslerinin deniz türleri ve populasyonlarında etkili olduğu kadar (Tuset ve ark., 2003b; Begg ve Brown, 2000) tatlısu balıklarının (L’Abee-Lund ve Jensen, 1993) ayrımlarında da etkili olduğu bilinmektedir. ABG ve BBG populasyonlarının otolit şekil indeksleri karşılaştırdığımızda yapılan analizler sonucunda; şekil faktörü ( $P<0,001$ ), yuvarlaklık ( $P<0,05$ ) ve dairesellik ( $P<0,01$ ) ölçümlerinin önemli derecede farklı olduğu tespit edilmiştir. Ancak dikdörtgensellik, ovallık ve boy-yükseklik oranı ölçümlerinde fark bulunmamıştır. Bir türde otolit şekli coğrafik bölgelere ve çevresel faktörlere göre değişim gösterebilmektedir (DeVries ve ark., 2002; Tuset ve ark., 2003b; Tuset ve ark., 2006; Burke ve ark., 2008; Lord ve ark., 2012; Sardighzadeh ve ark., 2014; Zengin ve ark., 2015; Saygın ve ark., 2017). Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri’nin sazan populasyonlarında şekil faktörü, yuvarlaklık ve dairesellik indeksleri stok ayrımı için yapılacak çalışmalarda kullanılabilirler.

**Tablo 1.** Sazan balığı asteriskus otolitlerinin lokalitelere göre tanımlayıcı istatistikleri (♀=Dişi, ♂=Erkek, Ort=Ortalama, SS=Standart Sapma)

Cinsiyet	Değişkenler	Altinkaya Baraj Gölü			Bafra Balık Gölleri				
		Ort±SS	Minimum	Maksimum	Ort±SS	Minimum	Maksimum		
♀	OB	Sağ	6,908±0,661	5,818	8,556	6,460±0,807	5,032	8,602	
		Sol	6,834±0,696	5,574	8,276	6,552±0,902	5,061	9,510	
	OY	Sağ	4,586±0,336	3,792	5,460	4,473±0,620	3,460	6,162	
		Sol	4,562±0,330	3,918	5,563	4,485±0,660	3,451	6,332	
	OA	Sağ	18,630±2,998	13,073	28,198	17,677±4,838	10,922	32,180	
		Sol	18,351±3,171	13,162	26,995	17,841±5,095	10,861	32,847	
	OÇ	Sağ	24,078±2,626	19,884	28,165	21,107±3,427	14,763	31,516	
		Sol	23,928±2,796	19,685	29,005	21,270±3,447	15,262	32,963	
	OW	Sağ	0,0235±0,0060	0,0131	0,0447	0,0224±0,010	0,0111	0,0572	
		Sol	0,0229±0,0057	0,0135	0,0432	0,0274±0,026	0,0110	0,1460	
	♂	OB	Sağ	6,8156±0,5644	5,8049	7,8840	6,647±1,181	3,414	8,854
			Sol <sub>2</sub>	6,8184±0,573	5,5560	7,9380	6,619±1,127	3,452	8,550
OY		Sağ <sub>2</sub>	4,6537±0,373	3,9788	5,2933	4,453±0,723	2,332	5,800	
		Sol <sub>1</sub>	4,6517±0,412	3,9372	5,4740	4,413±0,722	2,339	5,734	
OA		Sağ	18,849±2,787	13,803	25,128	18,36±5,820	4,780	31,510	
		Sol	18,791±2,843	13,188	25,064	18,22±5,740	4,890	29,420	

♀+♂	<i>OÇ</i>	<i>Sağ</i>	23,704±2,284	18,974	27,516	21,484±4,353	10,452	30,852
		<i>Sol</i>	23,796±2,462	17,758	28,020	21,486±4,244	10,362	29,313
	<i>OW</i>	<i>Sağ</i>	0,024±0,005	0,013	0,037	0,0249±0,012	0,0036	0,0532
		<i>Sol</i>	0,023±0,006	0,012	0,039	0,0246±0,012	0,0036	0,0481
	<i>OB</i>	<i>Sağ</i>	6,856±0,605	5,805	8,556	6,546±0,990	3,414	8,854
		<i>Sol</i>	6,825±0,625	5,556	8,276	6,583±1,002	3,452	9,510
	<i>OY</i>	<i>Sağ</i>	4,624±0,3560	3,7922	5,460	4,463±0,663	2,332	6,162
		<i>Sol</i>	4,612±0,3776	3,9183	5,563	4,452±0,683	2,339	6,332
	<i>OA</i>	<i>Sağ</i>	18,753±2,858	13,073	28,198	17,992±5,266	4,782	32,180
		<i>Sol</i>	18,597±2,974	13,162	26,995	18,015±5,347	4,893	32,847
	<i>OÇ</i>	<i>Sağ</i>	23,869±2,426	18,974	28,165	21,280±3,844	10,452	31,516
		<i>Sol</i>	23,854±2,592	17,758	29,005	21,369±3,795	10,362	32,963
	<i>OW</i>	<i>Sağ</i>	0,024±0,006	0,0126	0,0447	0,0235±0,011	0,0036	0,0572
		<i>Sol</i>	0,023±0,006	0,0123	0,0432	0,0261±0,021	0,0036	0,1460



**Tablo 2.** Altinkaya Baraj Gölü'nün otolit ölçümleri ile total balık boyu arasındaki ilişkiler

Değişken	Denklem parametreleri					
	İlişki türü	N	a	b	r <sup>2</sup>	P
OB-TB	Doğrusal	59	3,678	0,066	0,609	P<0,001
	Üssel	59	1,160	0,460	0,602	P<0,001
OY-TB	Doğrusal	59	2,822	0,038	0,566	P<0,001
	Üssel	59	1,025	0,390	0,564	P<0,001
OA-TB	Doğrusal	59	3,459	0,320	0,632	P<0,001
	Üssel	59	0,841	0,802	0,602	P<0,001
OÇ-TB	Doğrusal	59	12,575	0,236	0,479	P<0,001
	Üssel	59	3,644	0,486	0,492	P<0,001
Sağ OW-TB	Doğrusal	59	-0,007	0,001	0,682	P<0,001
	Üssel	59	0,000	1,297	0,660	P<0,001
Sol OW-TB	Doğrusal	59	-0,008	0,001	0,663	P<0,001
	Üssel	59	0,000	1,295	0,642	P<0,001

**Tablo 3.** Bafra Balık Gölleri'nin otolit ölçümleri ile total balık boyu arasındaki ilişkiler

Değişken	Denklem parametreleri					
	İlişki türü	N	a	b	r <sup>2</sup>	P
OB-TB	Doğrusal	50	1,870	0,108	0,897	P<0,001
	Üssel	50	0,433	0,722	0,922	P<0,001
OY-TB	Doğrusal	50	1,309	0,073	0,912	P<0,001
	Üssel	50	0,306	0,712	0,931	P<0,001
OA-TB	Doğrusal	50	0,413	3,439	0,866	P<0,001
	Üssel	50	0,828	0,943	0,896	P<0,001
OÇ-TB	Doğrusal	50	0,581	-7,124	0,915	P<0,001
	Üssel	50	1,429	0,082	0,945	P<0,001
OW-TB	Doğrusal	50	-0,027	0,001	0,851	P<0,001
	Üssel	50	7,688x10 <sup>-006</sup>	2,116	0,924	P<0,001

**Tablo 4.** Cinsiyete göre Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri örneklerinin otolit şekil indeks değerleri (♀=Dişi, ♂=Erkek, Ort=Ortalama, Sh= Standart Hata, SS=Standart Sapma, Min=Minimum, Maks=Maksimum)

Cinsiyet	Altinkaya Baraj Gölü						Bafra Balık Gölleri				
	Şekil İndeksleri	Ort	Sh	SS	Min	Maks	Ort	Sh	SS	Min	Maks
♀	<i>Şekil Faktörü</i>	0,407	0,010	0,053	0,321	0,534	0,498	0,011	0,056	0,396	0,630
	<i>Yuvarlaklık</i>	0,497	0,007	0,037	0,431	0,582	0,531	0,005	0,024	0,487	0,582
	<i>Dairesellik</i>	31,370	0,780	3,975	23,548	39,135	25,540	0,541	2,811	19,956	31,773
	<i>Dikdörtgensellik</i>	12,370	0,357	1,821	8,522	17,993	12,267	0,690	3,587	7,508	23,138
	<i>Ovallik</i>	0,201	0,005	0,027	0,130	0,236	0,182	0,004	0,020	0,150	0,238
	<i>Boy-Yükseklik oranı</i>	1,506	0,016	0,082	1,299	1,619	1,448	0,012	0,060	1,353	1,623
♂	<i>Şekil Faktörü</i>	0,423	0,008	0,047	0,306	0,057	0,493	0,010	0,049	0,379	0,586
	<i>Yuvarlaklık</i>	0,516	0,006	0,034	0,439	0,588	0,521	0,004	0,022	0,465	0,601
	<i>Dairesellik</i>	30,039	0,596	3,425	22,000	41,127	25,755	0,519	2,695	21,446	33,153
	<i>Dikdörtgensellik</i>	12,888	0,348	1,999	9,461	16,535	12,238	0,712	3,699	7,405	24,590
	<i>Ovallik</i>	0,188	0,005	0,029	0,135	0,265	0,188	0,004	0,019	0,144	0,235
	<i>Boy-Yükseklik oranı</i>	1,467	0,016	0,090	1,311	1,719	1,464	0,011	0,0578	1,336	1,613
♀+♂	<i>Şekil Faktörü</i>	0,416	0,007	0,050	0,306	0,571	0,496	0,007	0,052	0,372	0,630
	<i>Yuvarlaklık</i>	0,507	0,005	0,036	0,431	0,588	0,525	0,004	0,026	0,465	0,601
	<i>Dairesellik</i>	30,625	0,482	3,705	22,00	41,127	25,599	0,392	2,771	19,956	33,810
	<i>Dikdörtgensellik</i>	12,659	0,250	1,924	8,522	17,993	12,273	0,510	3,609	3,265	23,138
	<i>Ovallik</i>	0,194	0,004	0,029	0,130	0,265	0,189	0,003	0,021	0,134	0,238
	<i>Boy-Yükseklik oranı</i>	1,484	0,012	0,088	1,299	1,719	1,467	0,009	0,064	1,310	1,623

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nde gerçekleştirilen bu çalışmada ülkemizde ekonomik değeri yüksek olan sazan balığının otolitlerin morfometrik özelliklerinin analiz edilerek lokaliteler arasındaki varyasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda türün otolit morfolojisi ve morfometrisi araştırmalarının oldukça sınırlı sayıda olduğu gözlenmiştir (Bostancı, 2009; Yalçınkaya, 2009; Sayın ve Çalta, 2017)

Bu çalışmadan elde edilmiş olan bulguların ekonomik önemi oldukça yüksek olan sazan balığı ile ilgili olarak gerçekleştirilecek otolit temelli çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi BAP birimi tarafından PYO.FEN.1901.17.003 proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederiz.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Atılğan, E., Başçınar, N. S., ve Erbay, M. 2012. Doğu Karadeniz'deki istavrit, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868)'ın otolit özellikleri ve bazı populasyon parametreleri. *Journal of Fisheries Sciences. com*, 6(2), 114.
- Başusta, A., Özer, E.İ. and Girgin, H. (2013). Munzur Nehri'ndeki kırmızı benekli alabalığın (*Salmo trutta macrostigma* (Dummeril, 1858)) otolit boyutları-balık boyu arasındaki ilişki. *Journal of Fisheries Sciences*, 7(1), 22-29.
- Battaglia, P., Malara, D., Romeo, T., Andaloro, F. (2010). Relationships between otolith size and fish size in some mesopelagic and bathypelagic species from the Mediterranean Sea (Strait of Messina, Italy). *Scientia Marina*, 74(3), 605-612.
- Battaglia, P., Malara, D., Ammendolia, G., Romeo, T., and Andaloro, F. (2015). Relationships between otolith size and fish length in some mesopelagic teleosts (Myctophidae, Paralepididae, Phosichthyidae and Stomiidae). *Journal of Fish Biology*, 87, 774-782.
- Begg, G.A., and Brown, R.W. (2000). Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank based on otolith shape analysis. *Transactions of the American Fisheries Society*, 12(4), 935-945.
- Bilge, G., ve Filiz, H. (2018). Determination of sagittal otolith biometry and body size of *Serranus cabrilla* (Linnaeus, 1758) distributed in Southern Aegean Sea. *Aquatic Research*, 1(2), 38-42.
- Bostancı, D. and Polat, N. (2007). Dil balığı, *Solea lascaris* (Risso, 1810)'te otolit yapısı, otolit boyutları-balık boyu ilişkileri ve yaş tayini. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 265-272.

- Bostancı, D. ve Polat, N. (2008). Benekli pisi, *Lepidorhombus boscii* (Risso, 1810)'nin otolit yapısı, otolit boyutları-balık boyu ilişkileri ve yaş tayini. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 2(3), 375-381.
- Bostancı, D., Yılmaz, S., Polat, N. ve Kondaş, S. (2012). İskorpit *Scorpaena porcus* L. 1758'un otolit biyometri özellikleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 59- 68.
- Bostancı, D. (2009). Otolith biometry-body length relationships in four fish species (chub, pikeperch, crucian carp, and common carp). *Journal of Freshwater Ecology*, 24(4), 619-624.
- Burke, N., Brophy, D. and King, P. A. (2008). Shape analysis of otolith annuli in Atlantic herring (*Clupea harengus*): A new method for tracking fish populations. *Fisheries Research*, 91(2-3), 133-143.
- Campana, S.E. (2004). Photographic Atlas of Fish Otoliths of the Northwest Atlantic Ocean, Ottawa: NRC Res.
- Campana, S.E., and Thorrold, S.R. (2001). Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 30-38.
- Dehghani, M., Kamrani, E., Salarpouri, A., and Sharifian, S. (2016). Otolith dimensions (length, width), otolith weight and fish length of *Sardinella sardensis* (Day, 1878), as index for environmental studies, Persian Gulf, Iran. *Marine Biodiversity Records*, 9(1), 44.
- Demirkalp, F. Y. (1992). Bafra Balık Gölleri (Balıkgölü-Uzungöl)'nde yaşayan sazan balığı (*Cyprinus carpio* L., 1758)'nin büyüme özellikleri. *Doğa Türk Zooloji Dergisi*, 16, 161-175.
- DeVries, D.A., Grimes, C. B. and Prager, M.H. (2002). Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fisheries Research*, 57(1), 51-62.
- Düşükcan, M., Çalta M., ve Eroğlu M. (2015). Keban Baraj Gölü'nde yaşayan *Barbus grypus* Heckel, 1843'de otolit biyometrisi-balık boyu ilişkisi (Elazığ, Türkiye). *Yunus Araştırma Bülteni*, 15(3), 21-29.
- Emre, N. (2020). Biometric relation between asteriscus otolith size and fish total length of seven Cyprinid Fish species from inland waters of Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 20(3), 171-175.
- Eroğlu, M., and Şen, D. (2009). Otolith size-total length relationship in spiny eel, *Mastacembelus mastacembelus* (Banks and Solander, 1794) inhabiting in Karakaya Dam Lake (Malatya, Turkey). *Journal of Fisheries Sciences*, 3(4), 342-351.
- Jawad, L., Al-Mamry, J., and Al-Busaidi, H. (2011). Relationship between fish length and otolith length and width in the lutjanid fish, *Lutjanus bengalensis* (Lutjanidae) collected from Muscat City Coast on the Sea of Oman. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 17(2), 116-126.
- Khan, U., Ateşşahin, T., Eroğlu, M., and Düşükcan, M. (2022). Morphological variations of an invasive cyprinid fish (*Carassius gibelio*) in lentic and lotic environments inferred from the body, otolith, and scale shapes. *Acta Zoologica*. DOI: 10.1111/azo.12431.
- Kondaş, S., and Bostancı, D. (2015). Morphological and biometrical characteristics on otolith of *Barbus tauricus* Kessler, 1877 on light and scanning electron microscope. *International Journal of Morphology*, 33(4), 1380-1385.
- Kumar K.V.A., Deepa K.P., Hashim, M., Vasu, C. and Sudhakar, M. (2017). Relationships between fish size and otolith size of four bathydemersal fish species from the south eastern Arabian Sea, *Indian Journal of Applied Ichthyology*, 33(1), 102-107.
- Kurucu, G., and Bostancı, D. (2018). Using scanning electron microscopy and length-otolith size relationship for otolith morphological description of *Capoeta banarensis* Turan et al., 2006 and *Squalius cephalus* (L., 1758)(Actinopterygii: Cyprinidae) from Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 70(1), 83-88.
- L'Abée-Lund, J. H., Aand Jensen, A.J. (1993). Otoliths as natural tags in the systematics of salmonids. *Environmental Biology of Fishes*, 36(4), 389-393.
- Lombarte, A., and Leonart, J. (1993). Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology Fishes*, 37(1), 297-306.
- Lord, C., Morat, F., Lecomte-Finiger, R., and Keith, P. (2012). Otolith shape analysis for three Sicyopterus (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae) species from New Caledonia and Vanuatu. *Environmental Biology Fishes*, 93(2), 209-222
- Morat, F., Betoulle, S., Robert, M., Thailly, A. F., Biagiante-Risbourg, S., and Lecomte-Finiger, R. (2008). What can otolith examination tell us about the level of perturbations of Salmonid fish from the Kerguelen Islands. *Ecology of Freshwater Fish*, 17, 617-627.
- Nelson, J.S. (2006). *Fishes of the World*. 4th ed. Hoboken, NY, USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Özpicak M. (2020). Otolith shape and characteristics as a morphological approach to the stock identification in *Barbus tauricus* (Cyprinidae). *Journal of Ichthyology*, 60, 716-724.

- Özpiçak, M., Saygın, S., Aydın, A., Hancer, E., Yılmaz, S., and Polat, N. (2018). Otolith shape analyses of *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) (Actinopterygii: Cyprinidae) inhabiting four inland water bodies of the middle Black Sea region, Turkey. *Iranian Journal of Ichthyology*, 5(4), 293-302.
- Reddin, D.G., Stansbury, D.E. and Short, P.B. (1988). Continent of origin of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) at West Greenland. *ICES Journal of Marine Science*, 44(3), 180-188.
- Sadighzadeh, Z., Valinassab, T., Vosugi, G., Motallebi, A. A., Fatemi, M. R., Lombarte, A., and Tuset, V. M. (2014). Use of otolith shape for stock identification of John's snapper, *Lutjanus johnii* (Pisces: Lutjanidae), from the Persian Gulf and the Oman Sea. *Fisheries Research*, 155, 59-63.
- Samsun, N. and Samsun, S. (2006). Kalkan (*Scophthalmus maeoticus* Pallas, 1811) balığının otolit yapısı, yaş ve balık uzunluğu-otolit uzunluğu ilişkilerinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 181-187.
- Saygın, S., Özpiçak, M., Elp, M., Polat, N., Atıcı, A. A., and Akçanal Ödün, N. (2017). Comparative analysis of otolith features of tarek (*Alburnus tarichi* (Güldenstädt, 1814)) from different lakes across Van Basin (Van, Erçek, Nazik, Aygır) (Turkey). *LimnoFish*, 3(2), 91-99.
- Saygın, S., Özpiçak, M., Yılmaz, S., and Polat, N. (2020). Otolith shape analysis and the relationships between otolith dimensions–total length of European Bitterling, *Rhodeus amarus* (Cyprinidae) sampled from Samsun Province, Turkey. *Journal of Ichthyology*, 60(4), 570-577.
- Sayın, B., and Çalta, M. 2017. Keban Baraj Gölü'nde yaşayan aynalı sazan (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758)'nin otolit biyometrisi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 29(1), 27-32.
- Skeljo, F. and Ferri, J. (2012). The use of otolith shape and morphometry for identification and size-estimation of five wrasse species in predator-prey studies. *Journal of Applied Ichthyology*, 1-7.
- Tuset, V.M., Lombarte, A., Gonzalez, J. A., Pertusa, J.F., and Lorente, M. (2003a). Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp.. *Journal of Fish Biology*, 63, 1491–1504.
- Tuset, V.M., Loranço A., González, J. A., Pertusa, J. F., and Garcia-Díaz M.M. (2003b). Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, 19:88–93.
- Tuset, V.M., Rosin, P.L. and Lombarte, A. (2006). Sagittal otolith shape as useful tool for the identification of fishes. *Fisheries Research*, 81, 316-325.
- Tuset, V.M., Lombarte, A., and Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 7-198.
- Vilizzi, L., and Copp, G.H. (2017). Global patterns and clines in the growth of common carp *Cyprinus carpio*. *Journal of Fish Biology*. 91, 3–40.
- Yalçınkaya, E. (2009). Sazan yavrularında otolit gelişimi ile ağırlık-uzunluk ilişkisinin karşılaştırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- Yılmaz, S., Yazıcıoğlu, O., Saygın (Ayaydın), S. and Polat, N. (2014). Relationships of the otolith dimensions with body length of European perch, *Perca fluviatilis* L., 1758 from Lake Ladik, Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 46(5), 1231- 1238.
- Zar, J.H. (1999). Biostatistical analysis, Prentice-Hall, 663, New Jersey.
- Zengin, M., Saygın, S., and Polat, N. (2015). Otolith shape analyses and dimensions of the anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Black and Marmara Seas. *Sains Malaysiana*, 44(5), 657-662.
- Zengin, M., Saygın, S. and Polat, N. (2017). Relationships between otolith size and total length of bluefish, *Pomatomus saltatrix* (Linnaeus, 1766) in Black Sea (Turkey). *North-Western Journal of Zoology*, 13(1), 169-171.
- Zengin Özpiçak M., Saygın, S., Aydın, A., Hançer, E., Yılmaz, S., and Polat, N. (2018). Orta Karadeniz Bölgesi'ndeki bazı akarsulardan örneklenen tatlisu kefali (*Squalius cephalus*, L. 1758)'nin otolit özellikleri-total boy arasındaki ilişkiler. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 4(1), 17-24.
- Zorica, B., Sinovic, G., and Kec, V.C. (2010). Preliminary data on the study of otolith morphology of five pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). *Acta Adriatica*, 51(1), 89-96.

## Pandemi Sürecinde KYK Yurtlarında Kalan Öğrenciler İçin Karantina Yeri Seçimi

Zeynep BİLEN<sup>1</sup>, Merve YILDIZ<sup>2</sup>, Beyza Nur PEÇENEK<sup>3</sup>, Tuğba DANIŞAN<sup>4</sup>, Tamer EREN<sup>5\*</sup>

### Öz

Geçmişten günümüze toplumlar, birçok salgın hastalıkla mücadele etmiştir. Günümüzde ise COVID-19 hastalığı ortaya çıkmıştır. Hastalığın viral ve bulaşıcı olması nedeniyle sosyal izolasyon ve karantina tedbirlerine başvurulmuştur. Karantina, hastalığa neden olan enfeksiyöz etmenin insanlara bulaşmasını, daha tehlikeli bir hastalığa dönüşmesini ve hastalığın insanlarda daha kolay yayılmasını engellemek adına bireylerin kendilerini izole etmesidir. Salgın döneminde Gençlik ve Spor Bakanlığına bağlı olan Kredi ve Yurtlar Genel Müdürlüğü (KYK) yurtlarında bu salgına yakalanan öğrenciler karantinaya alınmıştır. Bu çalışmada KYK yurtlarında kalan öğrenciler için karantina yurt yeri seçimi yapılmıştır. Çalışmada, Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process, AHP) ve İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) yöntemleriyle değerlendirme yapılmıştır. Beş alternatif yedi kriter göz önüne alınarak seçilmiştir. Karantinaya alınmak için en uygun yurt B yurdu olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın karantina yeri seçimi konusunda bilinen ilk uygulama özelliği taşımasıyla literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pandemi, COVID-19, KYK, AHP, TOPSIS, Karantina Yer Seçimi.

## Quarantine Place Selection for Students Staying in KYK Dormitories During the Pandemic

### Abstract

Societies have struggled with many epidemics from the past to the present. Today, the disease COVID-19 has emerged. Due to the viral and contagious nature of the disease, social isolation and quarantine measures were applied. Quarantine is the isolation of individuals to prevent the infectious agent causing the disease from infecting people, turning it into a more dangerous condition, and controlling the infection from spreading more easily in humans. Students caught in this epidemic were quarantined in the General Directorate of Credits and Dormitories (KYK), affiliated with the Ministry of Youth and Sports. In this study, quarantine dormitory location selection was made for students staying in KYK dormitories. The Analytical Hierarchy Process (AHP) and Technique for Order of Preference by Similarity to An Ideal Solution (TOPSIS) methods were used in the study. Five alternatives were sorted by considering seven criteria. Dormitory B was determined as the most suitable dormitory to be quarantined. The study will contribute to the literature by being the first known application on the selection of a quarantine place.

**Keywords:** Pandemic, COVID-19, KYK, AHP, TOPSIS, Quarantine Location Selection.

<sup>1,2,3,4,5</sup>Kırıkkale Üniversitesi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale/TÜRKİYE, blzeynep0@gmail.com, merve06\_513@hotmail.com, beyzanurpenk@gmail.com, tugbadanisan@gmail.com, tamereren@gmail.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4319-6683>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1850-7905>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-0852-5122>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-1998-6810>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

## 1. Giriş

Hastalık; zararlı bakteri, mikrop ve virüslerin vücudu ele geçirmesi ve işleyişinde aksaklık ortaya çıkarması olarak tanımlanmaktadır. Hastalık meydana getiren bir enfeksiyona karşı duyarlılığı olan canlıya doğrudan veya dolaylı yolla bulaşması ile oluşan hastalıkların yayılarak başka canlılar üzerinde hastalık ortaya çıkarması, salgın hastalık olarak tanımlanır (Yurdakul, 2015; Deringöz ve ark., 2022). Tarih boyunca dünya, birçok salgın hastalıkla mücadele etmiştir. Daha önce yaşanmış salgın hastalıklardan, 2005 yılında kuş gribi ve 2009 yılında domuz gribi gibi virüsler dünya geneline yayılmış ve pandemiye uzanan süreçlerin yaşanmasına sebebiyet vermiştir (Özkoçak ve ark., 2020).

Günümüzde mevcut salgınlardan COVID-19 salgını tüm dünya üzerinde etkili olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre yaşamakta olduğumuz pandemi SARS-CoV-2 olarak tanımlanan yeni bir korona virüsün dünya çapında yayılım göstermesi sonucu meydana gelmiştir (Eren ve ark., 2022). Bu yeni virüs solunum hastalığının oluşumuna neden olmaktadır. Hastalık bireyler arası yakın mesafede yayılımını arttırdığı için bunu önlemek amacıyla sosyal mesafenin fazlalaştırılmasına yönelik önlemler alınması, dünya çapında gerçekleştirilen politikaların başında gelmektedir (Kara, 2020).

Salgın hastalıkların yayılmaması hususunda farklı yollar izlenmiştir. Karantina da bunlardan bir tanesidir. Bulaşıcılığı olan bir rahatsızlığın fazlaca görüldüğü bir yer ya da bölgeden gelen birey, gemi, mal veya hayvanların süreli olarak bir yerde tutulup gözlem altına alınması şeklinde uygulanan sağlık tedbiridir. Karantina, bulaşıcı hastalıkların yayılımının denetlenmesi en eski ve en etkili prosedürlerden biridir. Bu prosedür bireylerin belirtilen alanlara giriş ve çıkışını engelleyerek, gönüllü veya zorunlu bir şekilde gerçekleştirilme esasına dayanmaktadır (URL-1). Pandemi sürecinde karantina için çeşitli politikalar izlenmiştir (Erdem, 2020).

Yapılan çalışmada COVID-19 pandemi döneminde KYK yurtlarında kalan öğrencilerin karantina dönemi için konaklayacakları en uygun yer belirlenmiştir. Çalışmada Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan raporlar (URL-2, URL-3) ve halk sağlığı uzmanlarının görüşleri doğrultusunda kriterler belirlenmiştir. Alternatifler değerlendirilirken KYK yurtlarının çoğunlukta olduğu Ankara ilinden beş alternatif yurt belirlenmiştir. Literatürdeki pek çok yer seçim problemine nazaran bu çalışma salgın hastalık ile ilgili yapılmış tek yer seçim çalışması özelliğini taşımaktadır.

Çalışmanın planı şu şekildedir: Çalışmanın birinci bölümü olan giriş bölümünde problemin tanımı yapılmıştır. Salgın hastalıklar ve karantina ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Girişi takip eden ikinci bölümde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde seçim problemleri ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri uygulamaları ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde alternatif ve kriterler açıklanıp problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde çalışmanın literatüre katkılarına, bulgular ve tartışma kısmında ayrıntılı olarak yer

verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, çalışmanın olası bir salgın durumunda yer seçimi probleminde öncülük edeceği durumlar değerlendirilmiştir.

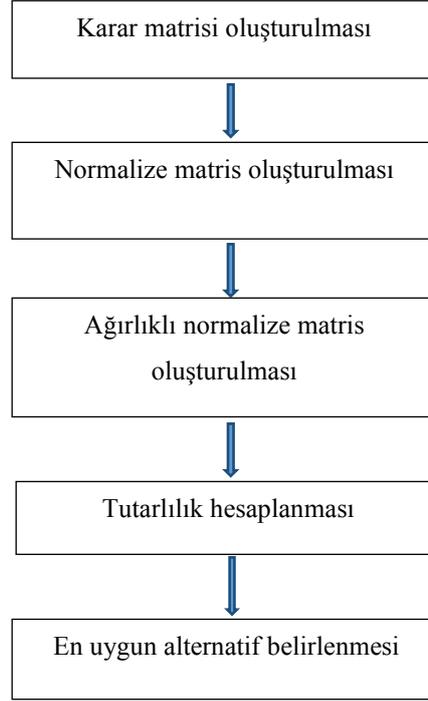
## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. İlk aşamada karar vericilerden alınan öznel değerlendirmeyi nesnel değerlendirmeye aktarabilme ile sonuca ulaşım kolaylığı sağlamasından dolayı AHP yöntemi seçilmiştir (Wu ve ark., 2019; Danışan ve ark., 2022b). AHP yöntemi ile kriterler ve alternatifler için ikili kıyaslama yapılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış ve alternatif sıralaması yapılmıştır. Kullanılan ikinci yöntemde ise yüksek hesaplama olanağı ile en iyi ve en kötü alternatifleri kolaylıkla matematiksel olarak incelemesi nedeniyle TOPSIS yöntemi kullanılmıştır (Özcan ve ark., 2020).

### 2.1. AHP Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan AHP yöntemi 1970'li yılların sonunda Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHP yönteminde farklı seviyelerde birbirlerinden bağımsız faktörler hiyerarşik bir yapıda değerlendirilmektedir. Bu hiyerarşik yapıda en üst basamakta amaç bulunurken, bir alt basamakta kriterler ve en alt basamakta ise alternatifler bulunmaktadır. AHP yönteminde kriterler arası ikili karşılaştırmalar yapılırken Saaty tarafından geliştirilen 1'den başlayarak sırayla 9'a kadar ilerleyen değerler alan bir ölçülendirme kullanılmaktadır (Saaty, 2008). Karşılaştırmalar neticesinde özvektör değerleri hesaplanır. Karşılaştırmalar, köşegen üstü ve köşegen altı değerlere kaydedilir. Karşılaştırma matrisinde bulunan her bir sütuna ait veriler buldukları sütun toplamına bölünerek normalize matris oluşturulur. Normalize edilmiş matristeki satır değerlerinin ortalaması tespit edilerek özvektör değerlerini elde edilir. Bu karşılaştırmalar sonucunda tutarlılık testi hesaplanmaktadır (Ömürbek ve ark., 2013). Şekil 1'de AHP yönteminin adımları özet bir şekilde verilmiştir (Özcan ve ark., 2019).

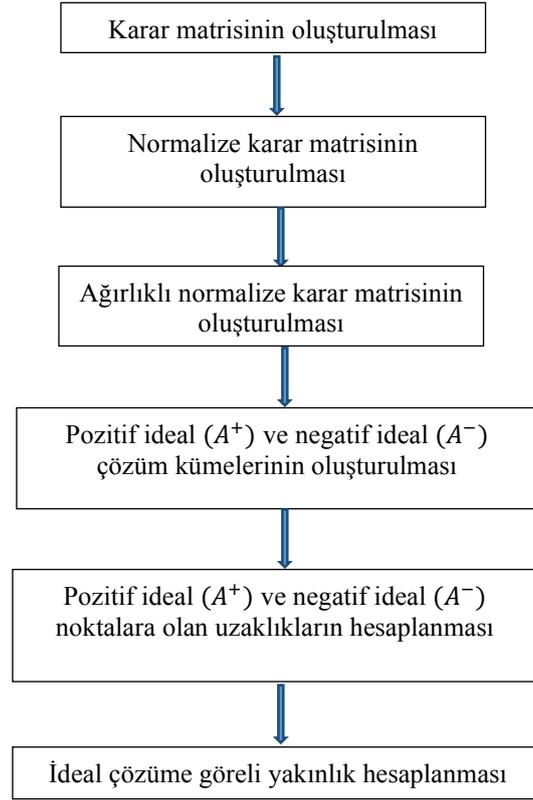




Şekil 1. AHP yöntemi akış şeması (Özcan ve ark., 2019)

## 2.2. TOPSIS Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinden bir diğeri olan TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem kriterlerin alternatif seçeneklerinin ideal çözüme olan uzaklıklarını sıralama yaparak çözümlenmektedir. Yöntem altı adımdan oluşmaktadır. Yöntem çözümünde ilk olarak karar matrisleri oluşturulmaktadır. Elde edilen karar matrisleri normalize edilerek ağırlıklandırılmaktadır. Çözümler doğrultusunda pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenip sonrasında uzaklıklar hesaplanarak ideal çözüme göre yakınlık elde edilmektedir (Akgün ve Temür, 2016). TOPSIS yönteminin adımları özetlenerek Şekil 2’de verilmiştir (Özcan ve ark., 2019).



Şekil 2. TOPSIS yöntemi akış şeması (Danışan ve ark., 2022b)

### 3. Literatür Taraması

ÇKKV yöntemleriyle ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalardan Yaşar (2022) uçak bakım teknisyenlerinin iş yüklerinin değerlendirirken, Dorado ve ark. (2014) yazılım seçiminde, Srdjevic ve ark. (2007) pompa istasyonu seçiminde, Ramdania ve ark. (2020) yeni çalışan kabulünün seçiminde ÇKKV yöntemlerini kullanmışlardır. Yer seçimi konusunda literatürde organize sanayi bölgesi (Demirdöğen ve Bilgili, 2010), acil durum servisleri (Erden ve Coşkun, 2011), afet istasyonları (Çiçekdağı ve ark., 2012), serbest bölge (Ağaç ve ark., 2015), kurak alan (Hadikurniawati ve ark., 2019), ekip (Danışan ve Eren, 2022) seçimi gibi problemleri üzerinde çalışılmıştır. Literatürde pandemi sürecinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için depo yeri ve aşı dağıtım merkezi (Oral ve ark., 2021), taşıma türü (Danışan ve ark., 2022a) seçim çalışmalarına rastlanmıştır. COVID-19 salgını döneminde personel seçimi (Karakul ve ark., 2022), pandemi döneminde müşterilerin otel tercihlerinde göz önünde bulundurdıkları kriterler ile otel tercihi ve sıralaması (Demirhan, 2022) problemlerine de çalışılmıştır. Bu çalışmalarla birlikte Deringöz ve ark. (2022) COVID-19 sürecinde hasta takibi için giyilebilir sağlık teknolojilerini, Akıncı ve ark. (2022) obezite hastaları için teknolojileri değerlendirmişlerdir. Sonel ve ark. (2019) ise sağlık turizminde şehir seçimi problemini ele almışlardır. Aydın (2009) çalışmasında Ankara ilinde hastane yer

seçiminin bulanık AHP yöntemiyle belirlenmesini amaçlamıştır. Alakaş ve ark. (2019) çalışmalarında, dört alternatif ambulans tedarikçisi arasından en uygun tedarikçiyi belirlemişlerdir. Literatürdeki çalışmalar Tablo 1’ de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Yer seçimi literatürü

Yazarlar	Yöntemler	Çalışma Alanı
Ağaç ve ark., 2015	AHP, TOPSIS, VIKOR ELECTRE	Serbest Bölge İçin Yer Seçim
Alakaş ve ark., 2019	AHP-TOPSIS AHP-VIKOR	Ambulans Tedarikçisi Seçimi
Aydın, 2009	Bulanık AHP	Hastane Yeri Seçimi
Çiçekdağı ve ark., 2012	Teorik Çalışma	Toplanma Merkezi Yeri Seçimi
Demirdöğen ve Bilgili, 2010	Teorik Çalışma	Organize Sanayi Bölgesi Yeri Seçimi
Erden ve Coşkun, 2011	AHP	Acil Durum Servislerinin Yer Seçimi
Eren ve ark., 2012	AHP TOPSIS	Burs İçin Öğrenci Seçimi
Hadikurniawati ve ark., 2019	AHP TOPSIS	Kurak Alan Yer Seçimi
Oral ve ark., 2021	AHP, ANP, PROMETHEE	İlaç Deposu ile Aşı Dağıtım Merkezi İçin Yer Seçimi
Ramdania ve ark., 2020	TOPSIS	Yeni Çalışan Kabulünün Seçimi
Srdjevic ve ark., 2007	AHP	Pompa İstasyonu Seçimi

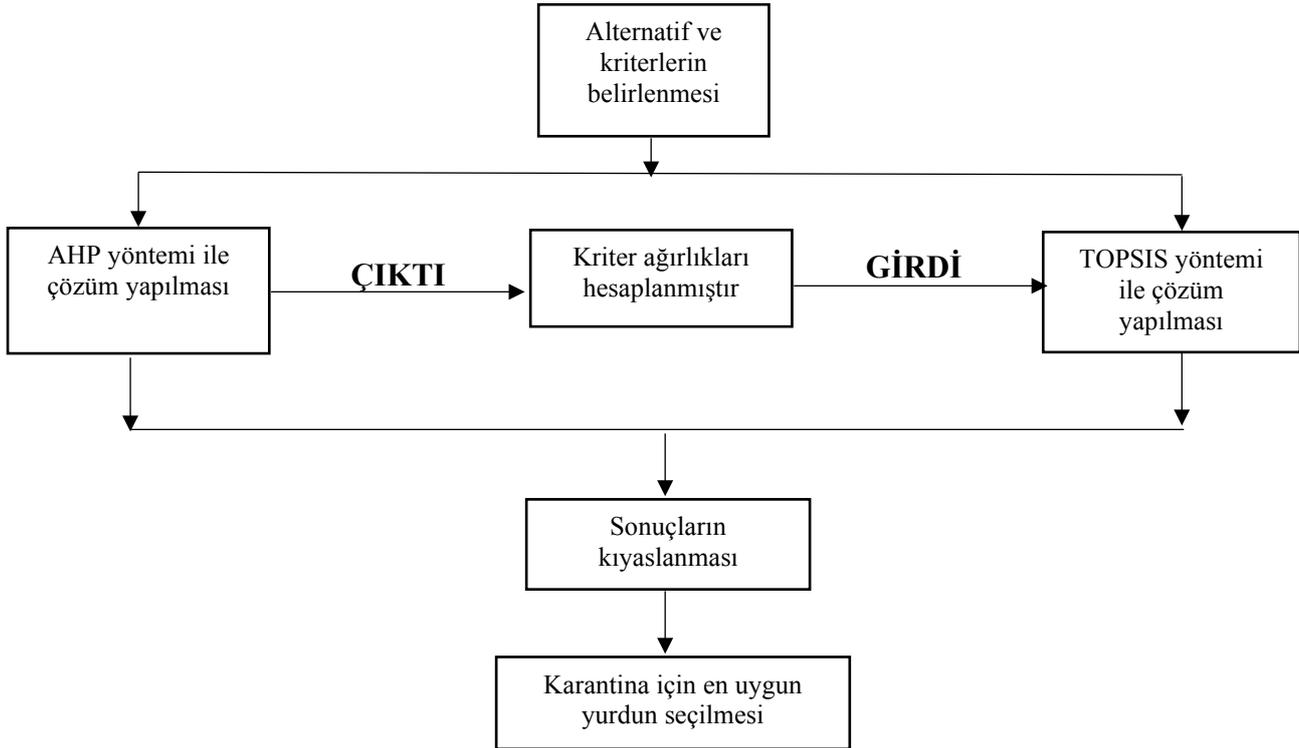
Literatürde pek çok yer seçimi problemine yer verilmiştir. Ancak yapılan literatür araştırmaları sonucunda COVID-19 karantina süreci için yurt yeri seçimiyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın literatüre katkıları ise şöyledir;

- Gelecekte olası bir bulaşıcı hastalık sonucunda pandemi süreciyle tekrar karşılaşıldığında, insanların izolasyon sürecinde konaklamaları hakkında belirli kriterler baz alınarak literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.
- Literatür araştırması sonucunda bulaşıcı hastalıklar ve yurt seçimi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışma bu konuyla ilgili yapılacak çalışmalara, literatürde kaynak niteliğinde olacağı düşünülmektedir.
- Karantina tedbirleri ile ilgili ele alınan kriterler belirlenen alternatifler için ilk defa kullanılmıştır. İlk defa kullanılmasının nedeni COVID-19 salgınının yeni bir salgın türü olmasıdır.
- Herhangi bir pandemi vb. durum yaşandığında karantina yerlerinde COVID-19’lu kişi kapasitesi, personel kapasitesi, hastaneye yakınlık, ihtiyaç temin kolaylığı, sosyal imkanlar,

yurt pandemi sorumlusuna ulaşım, odaların temizlenme sıklığı gibi kriterler dikkate alınarak, bu anlamda kalınacak yerlerde dikkat edilecek unsurlar sunulmuştur.

#### 4. Uygulama

Çin'in Wuhan Eyaleti'nde ilk olarak kendini gösteren COVID-19 salgını, DSÖ tarafınca pandemi olarak ilan edilmiştir. Pandemi döneminde hastalığın bulaşma riskini azaltmak maksadıyla hasta olan bireyleri sağlıklı bireylerden ayrı bir yerde barınmasını sağlamak için karantina ve izolasyon kavramları hayata dahil olmuştur. Gençlik ve Spor Bakanlığına bağlı olan Kredi ve Yurtlar Genel Müdürlüğü, salgına yakalanan öğrencileri barındırmaktadır. Yapılan bu çalışmada öğrencilerin süreci en iyi şekilde atlatmasına destek olmak adına bilimsel yöntemler kullanılarak KYK yurtlarında kalan öğrenciler için karantina yer seçimi problemi üzerinde çalışılmıştır. Problemin uygulaması belirlenen kriterler ve alternatifler doğrultusunda AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemle çözümlenip çözümler karşılaştırılmıştır. Şekil 3'te problemin uygulama adımlarına yer verilmiştir.



Şekil 3. Problemin uygulama adımları

#### 4.1 Alternatifler

Karantina yurdu yer seçim problemi için alternatifler belirlenirken Ankara ilinden beş adet öğrenci yurdu ele alınmıştır. Ankara ilinde çok sayıda yurt olması bu nedenle de farklı kriterleri rahatlıkla kıyaslanabilmesine neden olmuştur. Bu sebeple Ankara ilindeki yurtlar tercih edilmiştir. Alternatifler A yurdu, B yurdu, C yurdu, D yurdu ve E yurdu olarak Şekil 4’te haritada gösterilmiştir.



Şekil 4. Yurtların haritada gösterimi

#### 4.2 Kriterler

Kriterler belirlenirken pandeminin başlangıcından itibaren uygulanan karantina prosedürleri ve literatürdeki yer seçimi problemleri incelenmiştir. Çalışmada veri elde etmek için yurt görevlileri ve yurttaki COVID-19 geçiren öğrenciler ile iletişime geçildi. Bu süreçte T.C. Sağlık Bakanlığının yayınladığı dokümanlardan da veriler elde edildi (URL-2; URL-3). Elde edilen veriler göz önüne alındığında yurtlarda karantinaya alınacak kişiler, personel kapasitesi, hastaneye yakınlık vb. kriterlerin hastalık sürecinde önemli olduğu kanısına varılmıştır. İncelemeler sonucunda sürecin atlatılmasındaki koşullar göz önüne alınarak yedi adet kriter belirlenmiş ve açıklamalarıyla beraber Tablo 2’de yer verilmiştir.

**Tablo 2.** Ele alınan kriterlerin tablosu

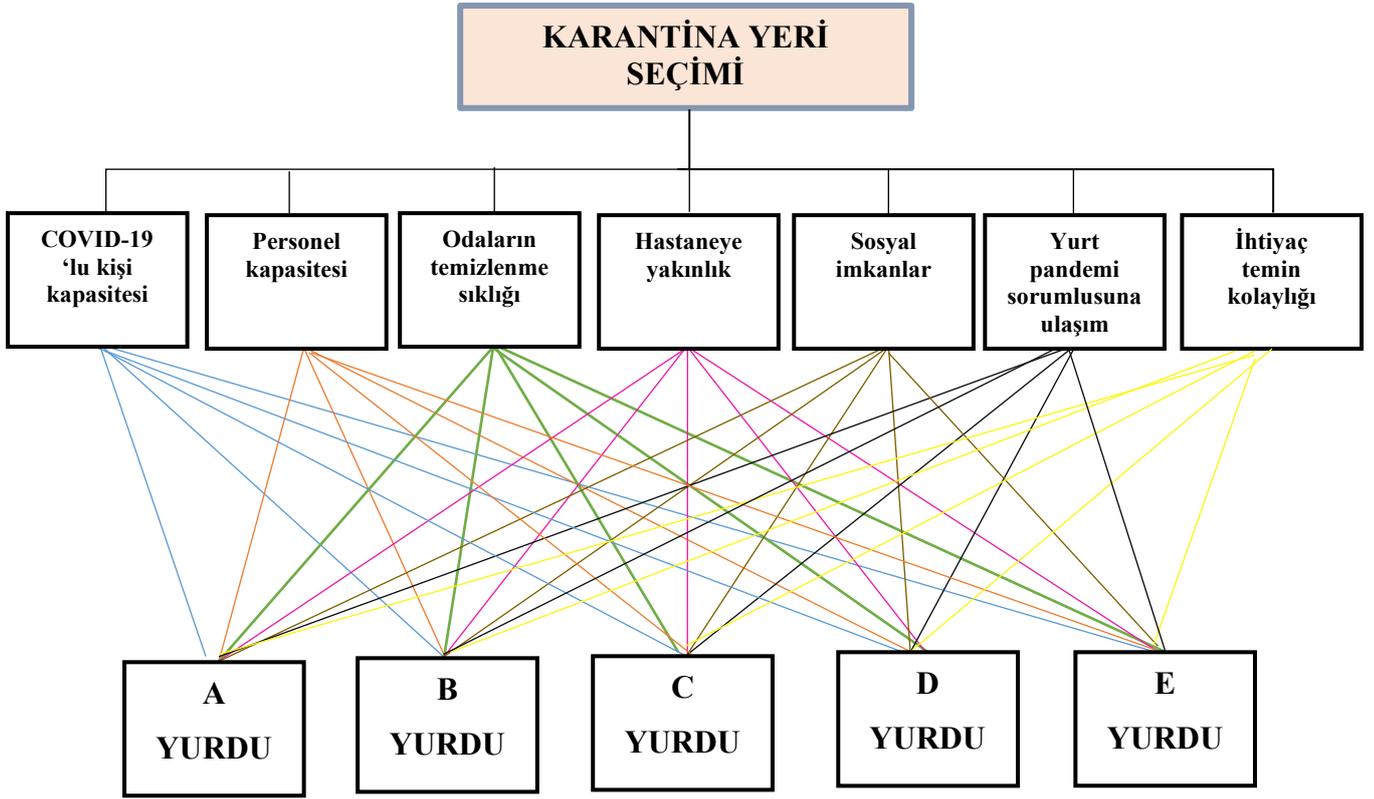
<b>Kriterler</b>	<b>Kriter açıklamaları</b>
COVID-19'lu Kişi Kapasitesi (K1)	Yurtlarda karantinaya alınabilecek kişi kapasitesi
Personel Kapasitesi (K2)	Yurtların COVID-19'lu kişiler ile ilgilenecek personel sayısı
Hastaneye Yakınlık (K3)	Acil bir durum kapsamında hastaneye olan uzaklık
İhtiyaç Temin Kolaylığı (K4)	İhtiyaç olduğunda havlu, terlik, diş macunu, şampuan, kişisel ihtiyaçların temini
Sosyal İmkanlar (K5)	İnternete kolay erişim, dışarıdan yemek siparişi gibi olanakların yeterliliği
Yurt Pandemi Sorumlusuna Ulaşım (K6)	Sağlık kuruluşları ile koordine olan, semptom gösteren öğrencinin sağlık merkezi çalışmasının yönlendirmeleri ile izolasyonunu ve takibini sağlayan kişiye kolay ulaşım imkânı
Odaların Temizlenme Sıklığı (K7)	COVID-19'lu hastaların odalarının düzenli olarak dezenfekte edilmesi ve havalandırılması imkânı, Yemek servisinde pandemi koşullarına uyulması

### 4.3 KYK Yurtlarının Değerlendirilmesi

Bu problemle ilgili beş adet alternatif ve yedi adet kriter değerlendirilerek gerekli veriler toplanmıştır. En uygun çözüme ulaşabilmek için elde edilen veriler AHP ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılmıştır. Bu iki yöntemle çözümleri kıyaslanıp pandemi döneminde öğrenciler için önceliğe sahip olan problem çözüme ulaştırılmıştır.

#### 4.3.1 KYK Yurtlarının AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi

AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmış ve alternatifler sıralanmıştır. Elde edilen verilerle kriterler ve alternatiflerin değerlendirilmesi sonucunda hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. AHP yönteminde karantina yurt yeri seçiminde tespit edilen kriterler ile alternatiflerin hiyerarşik yapısı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Problemin hiyerarşik yapısı

AHP yöntemini uygularken öncelikle kriterleri karşılaştırılmıştır. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra Saaty tarafından geliştirilen önem skalası (Saaty, 2008) baz alınarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Tablo 3' teki gibi kriterler karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Kriter arası ikili karşılaştırma matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1,00	5,00	3,00	1,00	7,00	2,00	2,00
K2	0,20	1,00	0,50	0,20	0,50	0,33	0,33
K3	0,33	2,00	1,00	0,33	3,00	2,00	2,00
K4	1,00	5,00	3,00	1,00	7,00	2,00	2,00
K5	0,14	0,50	0,20	0,14	1,00	0,20	0,20
K6	0,50	3,00	2,00	0,50	5,00	1,00	1,00
K7	0,50	3,00	2,00	0,50	5,00	1,00	1,00

Kriterlerin karşılaştırılması sonucunda Tablo 4'te yer alan ağırlıklar bulunmuştur. AHP yöntemi ile kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
K1	0,25303229
K2	0,04264203
K3	0,13477064
K4	0,25303229
K5	0,02891685
K6	0,14380295
K7	0,14380295

Tablo 4'teki kriter ağırlıkları incelendiğinde en fazla ağırlığa K1 ve K4 kriterinde rastlanmıştır. K1 kriteri COVID-19'lu kişi kapasitesini temsil etmekte olup barınabilecek insan sayısı kapasitesinin fazla olması kişilere daha iyi hizmet vermede önem arz etmektedir. K4 kriteri ise ihtiyaç temin kolaylığını temsil etmekte olup hasta bireylerin karantinada iken sağlık açısından ihtiyaç duydukları kişisel bakım, ilaç gibi gereksinimleri karşılamada önemlidir.

**Tablo 5.** AHP sonuçları

Alternatifler	Ağırlıklar	Sıralama
B	0,329332	1
D	0,197221	2
C	0,156986	3
E	0,167536	4
A	0,148925	5

Bulunan kriter ağırlıkları ile yapılan AHP uygulaması sonucunu göre Tablo 5'teki sonuçlar doğrultusunda karantina için en uygun yurt B yurdu olarak seçilmiştir. İkinci en iyi alternatif D yurdu olmuştur. Bunları sırasıyla C, E ve A yurtları takip etmiştir.

#### 4.3.2 KYK Yurtlarının TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi

Bu aşamada Şekil 2'de verilen TOPSIS adımları izlenerek ilk karar matrisi oluşturulmuştur. AHP yöntemi ile elde edilen Tablo 4'te verilen kriter ağırlıkları TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralamasında kullanılmıştır. Ardından ideal ve negatif ideal çözümlere ulaşarak ayırım ölçülerinin hesaplanmasıyla ideal çözüme göreli yakınlık bulunmuştur. Çözümün ilk aşamasında satırlar alternatifleri, sütunlar ise kriterleri göstermek üzere Tablo 6'daki karar matrisi oluşturulmuştur.



**Tablo 6.** TOPSIS karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A	0,05	0,17	0,06	0,06	0,05	0,18	0,58
B	0,07	0,16	0,56	0,56	0,51	0,28	0,13
C	0,13	0,41	0,10	0,10	0,08	0,39	0,16
D	0,49	0,21	0,12	0,12	0,13	0,06	0,07
E	0,26	0,05	0,17	0,17	0,22	0,09	0,06

Uygulanan TOPSIS adımları sonucunda puanlandırılmış karar matrisi üzerinde pozitif ideal ile negatif ideal sonuç değerlerine olan uzaklık değerleri ve ideal sonuca yakınlık değerleri bulunmuştur ve Tablo 7’de sonuçlara yer verilmiştir.

**Tablo 7.** TOPSIS sonuçları

Alternatifler	Ağırlıklar	Sıralama
B	0,53	1
D	0,43	2
E	0,30	3
A	0,29	4
C	0,27	5

Bu iki yöntem çözümü ile birçok kriter değerlendirilerek alternatiflerin arasından en uygun yurt seçimi yapılmıştır. AHP yöntem sonucunda en uygun seçenek B yurdu olarak bulunmuştur. Sırasıyla D yurdu, C yurdu, E yurdu, A yurdu sıralanmıştır. İki yöntemin de sonuçlarına Tablo 8’de yer verilmiştir.

**Tablo 8.** AHP-TOPSIS sonuçlarının karşılaştırılması

Sıralama	AHP	TOPSIS
1	B Yurdu	B Yurdu
2	D Yurdu	D Yurdu
3	C Yurdu	E Yurdu
4	E Yurdu	A Yurdu
5	A Yurdu	C Yurdu

TOPSIS yöntemiyle elde edilen çözümde de en iyi yurt alternatifi B yurdu olmuştur. Devamında sırasıyla D, E, A ve C yurtları en iyi alternatif olarak bulunmuştur. Yapılan işlemler sonucunda D yurdu aynı sırada kalıp, E yurdu dördüncü sıradan üçüncü sıraya yükselmiştir. AHP

yönteminde en uygun olmayan yurt A yurdu olarak tespit edilirken TOPSIS yönteminde bunun yerini C yurdu almıştır. Sonuçlar doğrultusunda karantina için en uygun yurt B yurdu olarak seçilmiştir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada KYK yurtlarında karantina için yer seçimi problemi ele alınmıştır. Alternatifler, ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS, AHP ile karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu KYK yurtları araştırılıp ÇKKV yöntemleri için alternatifler ve kriterler tespit edilmiştir. Tespit edilen bu alternatifler ilk olarak AHP yöntemi yardımıyla alternatif ve kriter kıyaslaması yapılarak çözülmüştür. Ardından TOPSIS yöntemiyle sıralama yapılmıştır.

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP ile KYK yurtları arasında alternatiflerin sıralamasına ulaşılmıştır. Literatürde ÇKKV yöntemleri kullanılarak pek çok yer seçimi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran özellik ise COVID-19 durumunun ele alınmış olmasıdır. Literatürde karşılaşılan yer seçimi problemlerinde, salgın hastalık ile mücadelede ortaya çıkan karantina durumu ile ilgili herhangi bir yer seçimine rastlanmayıp literatürde ilk uygulama özelliğini taşımaktadır. Çalışma, olası bir salgın hastalık durumunda yer seçimi probleminde kaynak niteliği taşıyarak literatüre katkı sağlayacaktır. İlerleyen çalışmalarda belirlenen sonuçlar doğrultusunda pandemi durumunda öğrencilerin yurtlara yerleştirilmesi planlanabilir. Ayrıca tespit edilen kriterlerle başka illerdeki KYK yurtları içinde bilimsel yöntemler kullanılarak sıralamaların yapılabileceği düşünülmektedir.

## Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Ağaç, G., Baki, B., Peker, İ., ve Ar, İ. M. (2015). Çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak serbest bölge yer seçimi: *Doğu Anadolu Bölgesi Örneği*. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30 (1), 79-113. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Deuiibfd/Issue/22716/242455>
- Akgün, M. ve Soy Temür, A. (2016). Bıst ulaştırma endeksine kayıtlı şirketlerin finansal performanslarının TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, Icafr 16 Özel Sayısı, 173-186. <https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Ijmeb/Issue/54621/745030>
- Akıncı, B. N., Danişan, T., ve Eren, T. (2022). Obezite hastaları için giyilebilir teknolojilerin ÇKKV yöntemleri ile seçimi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 947-957. <https://doi.org/10.2339/politeknik.886544>
- Alakaş, H. M. Bucak, M., ve Kızıldaş, Ş. (2019). Ahp-topsis ve ahp-vikor yöntemleri ile ambulans tedarik firması seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4 (1), 93-101. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Humder/Issue/44912/498007>
- Aydın, Ö. (2009). Bulanık ahp ile ankara için hastane yer seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 87-104. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Deuiibfd/Issue/22736/242676>
- Çiçekdağı, H. İ., ve Kırış, Ş. (2012). Afet istasyonu ve toplanma merkezi için yer seçimi ve bir uygulama. *Journal Of Science And Technology Of Dumlupınar University*, (28), 67-76. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Dpufbed/Issue/35929/403567>
- Danişan, T., Eren, T. (2022). Uluslararası etkin müdahale ekiplerinin ÇÖKV yöntemleri ile belirlenmesi, *3rd International Disaster Management Congress*, Tokat.
- Danişan, T., Gümüş, G., Ercan, Z., Güven, E., ve Eren, T. (2022a). Türkiye’de aşı taşıma sisteminde ahp ve topsis yöntemleri ile taşıma türü seçimi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (36), 47-58. <https://doi.org/10.20875/makusobed.1114144>
- Danişan, T., Özcan, E., ve Eren, T. (2022b). Personnel Selection with Multi-Criteria Decision Making Methods in the Ready-to-Wear Sector. *Tehnički vjesnik*, 29(4), 1339-1347. <https://doi.org/10.17559/TV-20210816220137>
- Demirdöğen, O., ve Bilgili, B. (2010). Organize sanayi bölgeleri için yer seçimi kararlarını etkileyen faktörler: Erzurum örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4 (2), <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Ataunisobil/Issue/2814/37865>
- Demirhan, A. (2022). Covid-19 pandemi döneminde müşterilerin otel seçim kararlarının TOPSIS yöntemiyle incelenmesi. *Ulakbilge*. s. 81–91. doi: 10.7816/ulakbilge-10-68-07
- Deringöz, A., Danişan, T., ve Eren, T. (2022). Covid-19 takibinde giyilebilir sağlık teknolojilerinin ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 25 (2), 533-543. <https://doi.org/10.2339/politeknik.768219>
- Dorado, R., Gómez-Moreno, A., Torres-Jiménez, E., López-Alba, E. (2014). An AHP application to select software for engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(2), 200–208. <http://dx.doi.org/10.1002/cae.20546>
- Ramdania, D. R., Manaf K., Junaedi F. R., Fathonih, A., and Hadiana, A., (2020, September). TOPSIS Method on Selection of New Employees’ Acceptance, *2020 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*. pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/icwt50448.2020.9243658>
- Erdem, İ. (2020). Koronavirüse (Covid-19) karşı Türkiye’nin karantina ve tedbir politikaları. *Electronic Turkish Studies*, 15(4), 377-388. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.43703>
- Erden, T., ve Coşkun, M. Z. (2011). Acil durum servislerinin yer seçimi: analitik hiyerarşi yöntemi ve cbs entegrasyonu. *İtüdergisi/d*, 9(6).
- Eren, T., Abalı, Y. A., ve Kutlu, B. S. (2012). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bursiyer seçimi: bir eğitim kurumunda uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26 (3-4), 259-272. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Atauniiibd/Issue/2707/35752>
- Eren, T., Danişan, T., Deringöz, A., ve Aksüt, G. (2022). Comparison and selection of patient follow-up systems for covid-19 pandemic patients. *Fashion and Textiles*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00296-7>
- Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: methods and applications. In new york: *Springer-Verlag*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3)

- Kara, E. (2020). Kovid-19 pandemisindeki dezavantajlı gruplar ve sosyal hizmet işgücünün işlevi. *Türkiye Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi*, Covid-19 Özel Sayısı, 28-34. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Tushad/Issue/54680/726487>
- Karakul, K. A., ve Akpınar, H. (2022). Covid-19 salgın dönemi şartlarında işletmeler için AHP temelli TOPSIS yöntemi ile personel seçimi. *Journal Of Business Innovation And Governance*, 5 (1), 73-89. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jobig/issue/70975/1119224>
- Oral, N., Yapıcı, S., Yumuşak, R., ve Eren, T. (2021). Pandemi sürecinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için ilaç deposu ve aşı dağıtım merkezi yeri seçimi. *Politeknik Dergisi*, 1-1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.884835>
- Ömürbek, N., Üstündağ, S., ve Helvacioğlu, Ö. C. (2013). Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanımı: Isparta bölgesinde bir uygulama. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11 (21), 101-116. <https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Comuybd/Issue/4102/54042>
- Özcan, E.C., Danişan, T., Yumuşak, R., Eren, T., (2020). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants. *Eksplatacja I Niezawodność- Maintenance And Reliability*, 21(3), 400-418. <https://doi.org/10.17531/ein.2020.3.3>
- Özcan, E.C., Danişan, T., Eren, T. (2019). Hidroelektrik santrallerin en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 498-506. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.38455>
- Özkoçak, V., Koç, F., ve Gültekin, T. (2020). Pandemilere antropolojik bakış: koronavirüs (covid-19) örneği. *Turkish Studies*, 15(2), 1183-1195. <http://Dx.Doi.Org/10.29228/Turkishstudies.42679>
- Saaty T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Of Services Sciences*, 1(1): 83-98, <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Sonel, E., Gür, Ş., ve Eren, T. (2019). Çok ölçütlü karar verme ile sağlık turizminde şehir seçimi ve analizi. *Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 27-39. <https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Ijgtr/Issue/45045/538037>
- Srdjevic, Z., Kolarov, V., ve Srdjevic, B. J. B. S. (2007). Finding the best location for pumping stations in the galovica drainage area of serbia: the ahp approach for sustainable development. *Business Strategy And The Environment*, 16(7), 502-511. <https://Doi.Org/10.1002/Bse.598>
- URL-1 <https://Covid19.Saglik.Gov.Tr/Tr-66477/K.Html> (Erişim Tarihi: 19 Şubat 2022)
- URL-2 <https://Covid19.Saglik.Gov.Tr/Tr-75262/30-Koronavirus-Hastasiyim-Evde-Nelere-Dikkat-Etmeliyim.Html#> (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2022)
- URL-3 <https://Covid19.Saglik.Gov.Tr/TR-66301/Covid-19-Rehberi.Html> (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2022)
- Yurdakul, E. S. (2015). Tarihte önemli bulaşıcı hastalık salgınları. *Türkiye Klinikleri Halk Sağlığı Dergisi*, 1(3), 1-6.
- Hadikurniawati, W., Winarno, E., Santoso, Db., ve Purwatinengtyas. (2019, February). A mixed method using ahp-topsis for dryland agriculture crops selection problem. *3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)*, (S. 1-5). <https://doi.org/10.1109/icicos48119.2019.8982415>
- Wu, Y., Zhang, T., Xu, C., Zhang, B., Li, L., Ke, Y., Yan, Y., ve Xu, Ruhang. (2019). Optimal location selection for offshore wind-pv-seawater pumped storage power plant using a hybrid mcdm approach: a two-stage framework. *Energy conversion and management*, 199, 112066 <https://doi.org/10.1016/J.Enconman.2019.112066>

## An Innovative Approach for Numerical Solution of the Unsteady Convection-Dominated Flow Problems

Osman UNAL<sup>1\*</sup>, Nuri AKKAS<sup>2</sup>

### Abstract

In this study, convection-diffusion equation is solved numerically using four different space discretization methods namely first-order upwinding, second-order central difference, cubic (partially upwinded) and cubic-TVD (Total Variation Diminishing) techniques. All methods are compared with the analytical solution. The first-order method is not close to the analytical solution due to the numerical dispersion. The higher-order techniques reduce numerical dispersion. However, they cause another numerical error, unphysical oscillation. This study proposes an innovative approach on cubic-TVD method to eliminate undesired oscillations. Proposed model decreases numerical errors significantly compared to previously developed techniques. Moreover, numerical results of presented model quite close to the analytical solution. Finally, all Matlab codes of numerical and analytical solutions for convection-diffusion equation are added to Appendix in order to facilitate other researchers' work.

**Keywords:** Convection-dominated flow, Numerical dispersion, Unphysical oscillation.

## Kararsız Konveksiyon Ağırlıklı Akış Problemlerinin Sayısal Çözümü için Yenilikçi bir Yaklaşım

### Öz

Bu çalışmada, konveksiyon-difüzyon denklemi; birinci dereceden yukarı yelpaze, ikinci dereceden merkezi fark alma, kübik (kısmen yukarı yelpaze uygulanmış) ve kübik-TVD (Toplam Varyasyon Azaltma) teknikleri olmak üzere dört farklı uzay ayrıklaştırma yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Tüm yöntemler analitik çözümlerle karşılaştırılmıştır. Birinci dereceden yöntem, sayısal dağılım nedeniyle analitik çözüme yakın değildir. Daha yüksek mertebeden teknikler sayısal dağılımı azaltmaktadır, ancak bir diğer sayısal hataya, fiziksel olmayan salınımlara sebep olmaktadır. Bu çalışma, istenmeyen salınımları ortadan kaldırmak için kübik-TVD yöntemine yenilikçi bir yaklaşım önermektedir. Önerilen model, daha önce geliştirilen tekniklere kıyasla sayısal hataları önemli ölçüde azaltır. Ayrıca sunulan modelin sayısal sonuçları analitik çözüme oldukça yakındır. Son olarak, diğer araştırmacıların işini kolaylaştırmak için konveksiyon-difüzyon denklemi için sayısal ve analitik çözümlerin tüm Matlab kodları Ek'e dahil edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Konveksiyon ağırlıklı akış, Sayısal dağılım, Fiziksel olmayan salınım.

<sup>1</sup>Sakarya University of Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, Sakarya, Turkey, osman92unal@gmail.com

<sup>2</sup>Sakarya University of Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, Sakarya, Turkey, nuriakkas@subu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1101-6561> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7477-7777>

## 1. Introduction

Convection-dispersion equation has been broadly utilized in basic disciplines for instance mechanical engineering, environmental engineering, chemical engineering and civil engineering. The contaminant and sediment movement in the atmosphere, lakes, rivers, as well as groundwater aquifers are just a few examples of specific disciplines where the convection-diffusion equation is employed to explain the transport process (Peng et. al., 2013). In addition, convection–diffusion equations are critical for simulating flow and transport in oil and gas reservoirs, particularly in two-phase flow (Kurganov and Tadmor, 2000). Furthermore, the convection–diffusion equation is particularly useful in simulating miscible displacement, immiscible displacement, chemical displacement and non-isothermal injection techniques (Kamalyar et. al., 2014). In short, this equation has a substantial role in modeling many physical systems. The convection-diffusion problems are solved by commercial and non-commercial simulator for these different physical systems. These simulators use the numerical techniques to solve complex and multi-dimensional physical problems, because these sophisticated systems don't have any analytical solution yet. On the other hand, some one-dimensional and simple physical problems have analytical solution. The numerical simulator engineers validate their numerical methods with analytical solution for uncomplicated and one-dimensional physical problems. After that, they apply their numerical techniques to the multi-dimensional and advanced problems. In this study, four different numerical methods to solve following convection-diffusion equation have been compared with its analytical solution.

$$D\nabla^2 C - u \cdot \nabla C = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (1)$$

Equation 1 indicates multi multi-dimensional form of convection-diffusion equation. The first and second terms in equation 1 are diffusion and convection terms respectively. The last term is accumulation term. C, D and u are concentration, diffusivity coefficient and velocity respectively. Equation 2 shows one-dimensional form of general convection-diffusion equation.

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2)$$

The analytical solution of one-dimensional convection-diffusion equation is indicated by following equation (Peaceman, 2000).

$$C = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{x - ut}{2(Dt)^{0.5}} \right) + \frac{1}{2} \exp(ux/D) \operatorname{erfc} \left( \frac{x + ut}{2(Dt)^{0.5}} \right) \quad (3)$$

If physical dispersion coefficient is zero, equation 3 is undefined. In that case, following equation is obtained.

$$-u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (4)$$

Equation 4 is called as advection equation or transport equation. It can be solved analytically using method of characteristics. It is required to know initial condition of equation 4 to solve it. The initial condition can be defined by equation 5.

$$C(0) = F(x_0) \quad (5)$$

In equation 4,  $u$  is a constant. The constant  $u$  is referred to as the velocity of propagation. This is the rate at which the solution will propagate along the characteristics. All points on the solution will propagate at the same speed  $u$  because of constant velocity. The method of characteristics implies that solution of transport equation is a function of initial condition. The solution of advection equation is shown following equation 6 (Sarraf, 2002).

$$C(x, t) = F(x_0) = F(x - ut) \quad (6)$$

## 2. Materials and Methods

The convection-diffusion equation and transport equation can be solved numerically using different space and time discretization techniques. In this study, explicit time discretization method is used to simplify calculations. The equations 7 and 8 show full discretization of convection-diffusion equation and advection equation respectively.

$$D \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{\Delta x^2} - u \frac{C_{i+1/2}^n - C_{i-1/2}^n}{\Delta x} = \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} \quad (7)$$

$$-u \frac{C_{i+1/2}^n - C_{i-1/2}^n}{\Delta x} = \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} \quad (8)$$

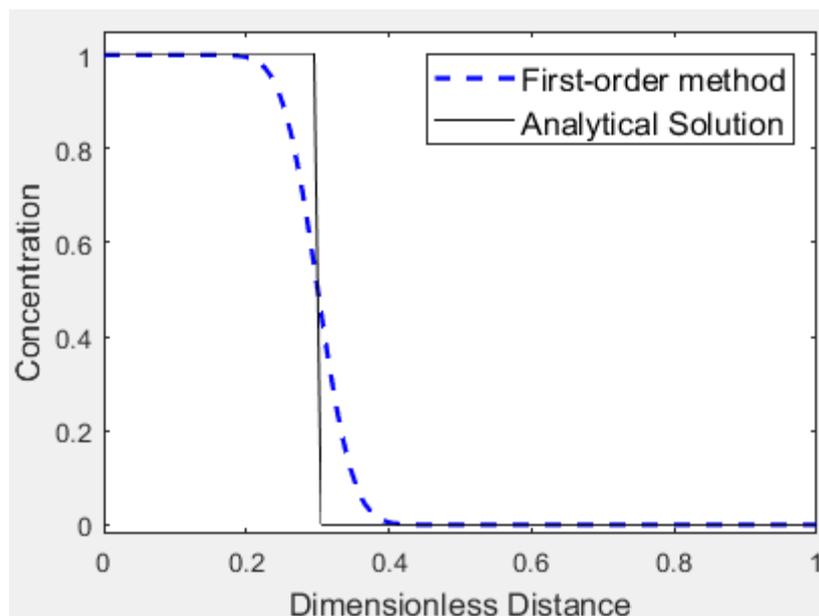
In equation 7 and 8, the subscript  $i$  values refer to nodes or grid blocks. The superscript  $n$  means time steps.  $C_i$  and  $C_{i+1/2}$  refer to grid block central values and grid block face values respectively. The central difference method is used for space discretization of the diffusion term which depends only on the central grid block values. The central grid block values are determined at each time steps. Thus, there is no problem to calculate numerical expression of diffusion term. On the other hand, the space discretization of convection term depends on grid block face values,

and there is no any exact information about face values in numerical calculations. The faces values can be predicted by various space discretization techniques, for instance first-order upstream method, second-order central difference technique, cubic method and cubic-TVD (Total Variation Diminishing) method. However, these all techniques are not certain values. They are only assumption, and main numerical errors arise from these approximations. The first objective of this study is to minimize these numerical errors using small change on cubic-TVD method. Second aim of this study is to compare numerical results of space discretization methods. Finally, this study is to present all Matlab codes for numerical and exact solutions as a simulator. This simulator can be used for different time interval, desired total simulation time, different space interval, and several space discretization methods by other researchers.

In numerical calculation, the improper approximation of grid block face values leads to numerical errors: numerical dispersion and unphysical oscillation. If first-order method is used to predict face values, it causes numerical dispersion. This method is a non-oscillatory technique, but it is far from exact solution especially for large time steps and wide space intervals. Equation 9 shows the mathematical expression of first-order upstream space discretization method (Ertekin et. al., 2001).

$$C_{i+1/2} \approx C_i \quad (9)$$

Equation 9 implies right face value is equal to central value of previous grid block. Similarly, left face value is determined by decreasing the sub-index value by one. Figure 1 shows numerical result of first-order upwinding method and exact solution.



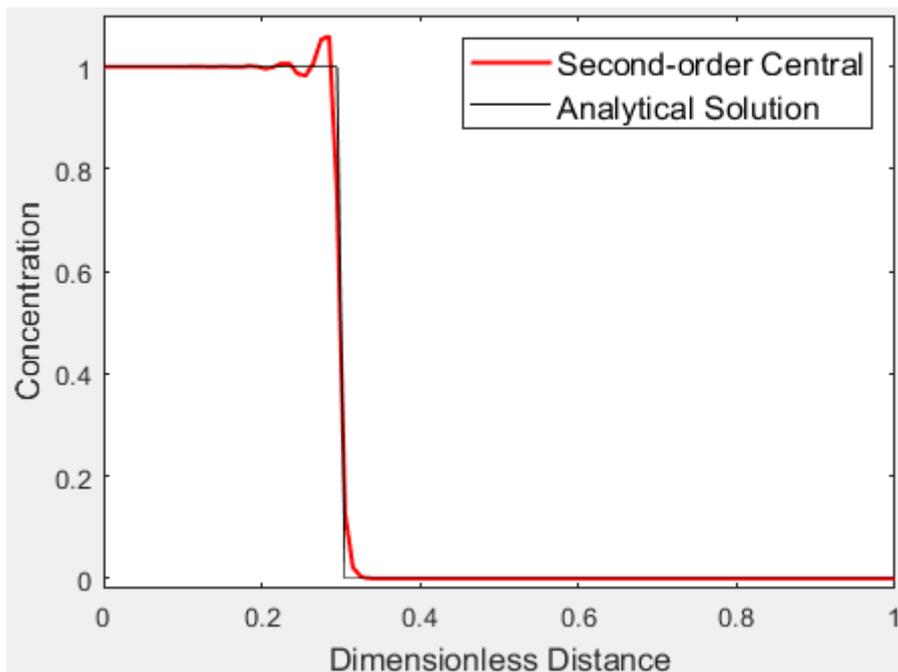
**Figure 1.** First-order method.



According to figure 1, the numerical result is not close to analytical solution. The advantage of first-order technique is that it hasn't any unphysical oscillation and it is the simplest method to predict face values. However, it has significant numerical dispersion. It is exactly known that grid block face values are greater than central values of previous grid block for upwinding or upstream flow or heat transfer. The assumption of single-point upstream technique means that flow or heat transfer propagates easily through the opposite direction of the upstream region without any obstacle on grid block face. There is no any excessive accumulation in interested grid block due to this assumption. That's why first-order technique doesn't have any unphysical oscillation, but this case leads to numerical dispersion which is main problem for numerical simulator engineers. The higher-order techniques should be used in order to decrease numerical dispersion (Wolcott et. al., 1996). The second-order central finite difference method is used to increase accuracy of the numerical calculation and it reduces numerical dispersion (Mazumder, 2015). The mathematical formula of central difference method can be expressed as following equation 10.

$$C_{i+1/2} \approx \frac{C_{i+1} + C_i}{2} \quad (10)$$

The central difference method means that face value is equal to half of summation of previous and next grid block central values. If this supposition is greater than real values for grid block face, it causes excessive accumulation in interested grid block and it leads to unphysical oscillation. Figure 2 shows numerical solution for second-order central difference method and analytical solution.

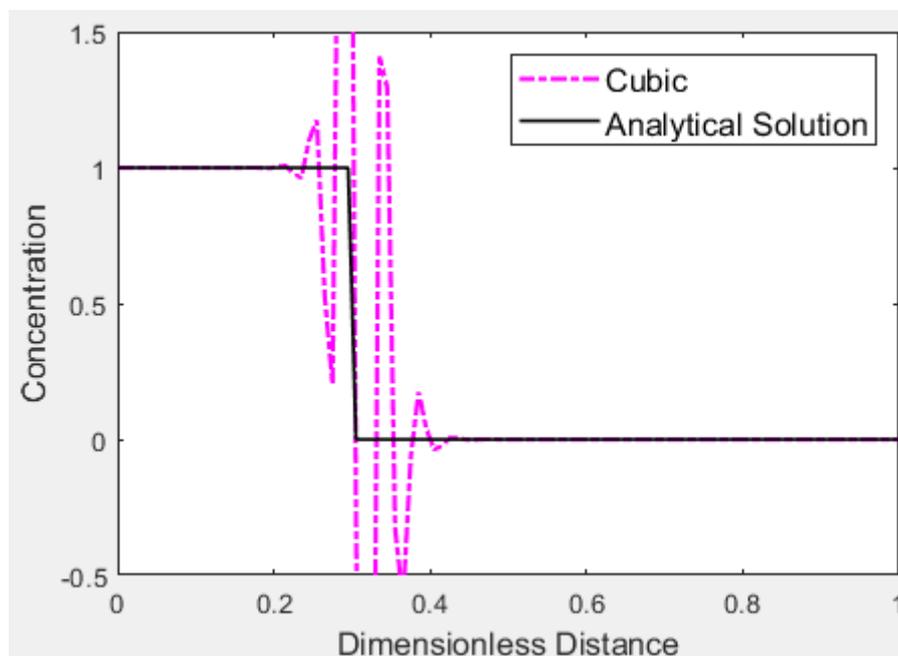


**Figure 2.** Second-order central difference technique.

The numerical dispersion decreases using second-order central difference method according to figure 2. Nevertheless, incorrect prediction of face values causes unphysical oscillation. This undesired oscillation can be vanished using other higher-order techniques. Equation 11 indicates cubic method proposed by Leonard many years ago (Leonard, 1979).

$$C_{i+1/2} \approx \frac{C_{i+1} + C_i}{2} - \frac{C_{i+1} - 2C_i + C_{i-1}}{6} \quad (11)$$

Equation 11 is a higher-order technique called as partially upwinding or upstream method. Although the main advantage of higher-order technique is to reduce numerical dispersion, some higher-order techniques give unreasonable oscillation due to high Courant number and low physical dispersion coefficient.



**Figure 3.** Partially upwinding cubic technique.

Figure 3 indicates that the partially upstream cubic method results in simulation with excessive unphysical oscillation. It arises from inaccurate prediction of the face values. The numerical estimation of face values should be optimized using TVD technique (Harten, 1984) to obtain meaningful numerical results from partially upwinding cubic method. TVD method can be defined as following equation.

$$C_{i+1/2} \approx C_i + \frac{1}{2} \phi(r) [C_i - C_{i-1}] \quad (12)$$

Equation 12 consists of upwinding term (first term at right-hand side) and anti-diffusive term (second term at right-hand side). Anti-diffusive term is used to decrease numerical dispersion. If it is greater than actual value, it causes unphysical oscillation. If it is lesser than real face value, it leads to numerical dispersion. The main objective of TVD technique is to optimize anti-diffusive term according to different conditions. Anti-diffusive term depends on flux limiter that is a function of following gradient ratio (Sweby, 1984).

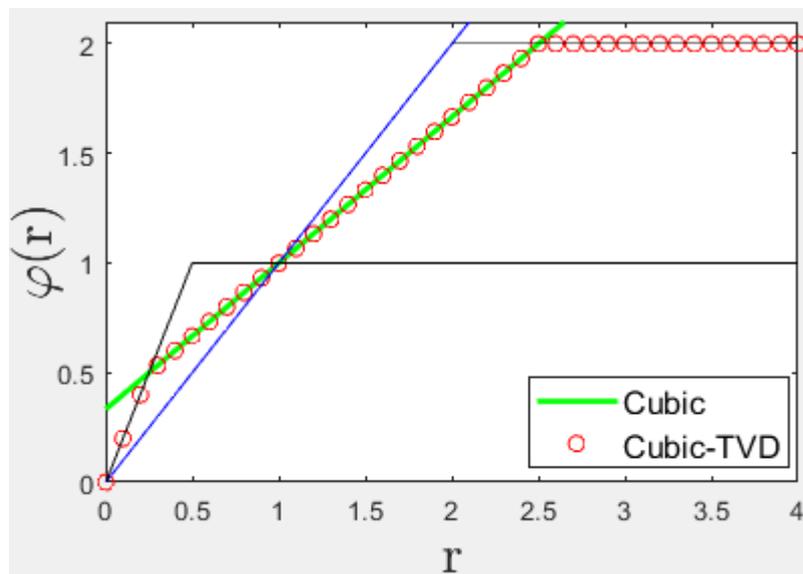
$$r = \frac{C_{i+1} - C_i}{C_i - C_{i-1}} \tag{13}$$

The definition of pure-cubic method and cubic-TVD technique using flux limiter functions can be expressed by equations 14 and 15 respectively (Wolcott et. al., 1996).

$$\varphi(r) = \frac{2r + 1}{3} \tag{14}$$

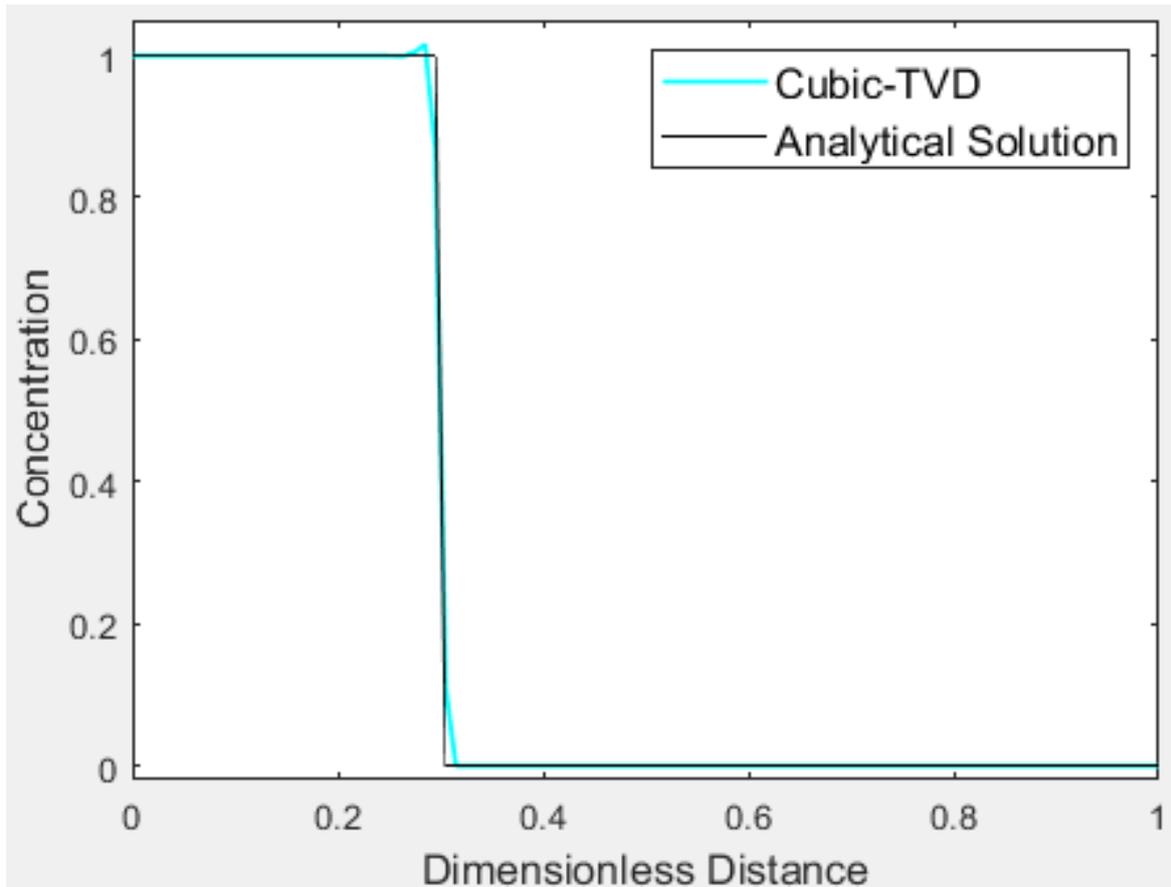
$$\varphi(r) = \min\left(2, 2r, \frac{2r + 1}{3}\right) \tag{15}$$

The relationship between flux limiter function and gradient ratio for pure-cubic and cubic-TVD methods is shown in Figure 4.



**Figure 4.** Cubic and cubic-TVD methods at TVD region.

The pure-cubic method (green line) isn't restricted by any upper limit. Hence, it may lead unphysical oscillation when gradient ratio of interested variable is greater than 2.5. In addition, the pure-cubic method may cause undesired oscillation at the flood front due to its high values for small gradient ratios compared to cubic-TVD technique.

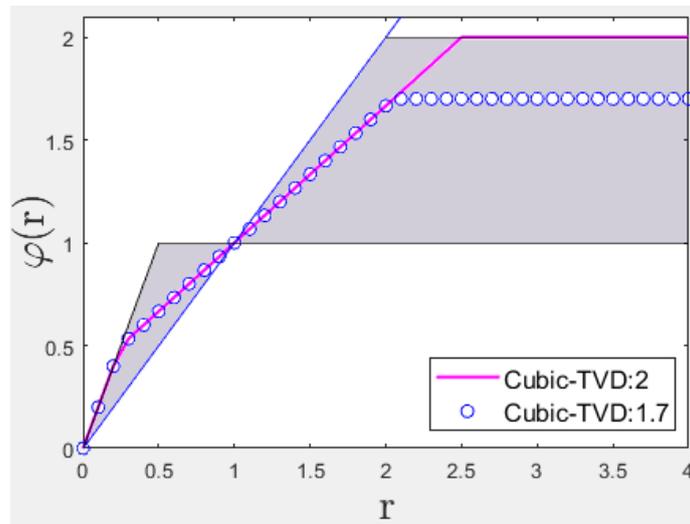


**Figure 5.** Cubic TVD method.

Figure 5 demonstrates numerical results for cubic-TVD method. Even though, cubic-TVD method reduces both numerical dispersion and unphysical oscillation, still it has small unphysical oscillation at flood front. This undesired oscillation may be eliminated by small adjustment on cubic-TVD technique.

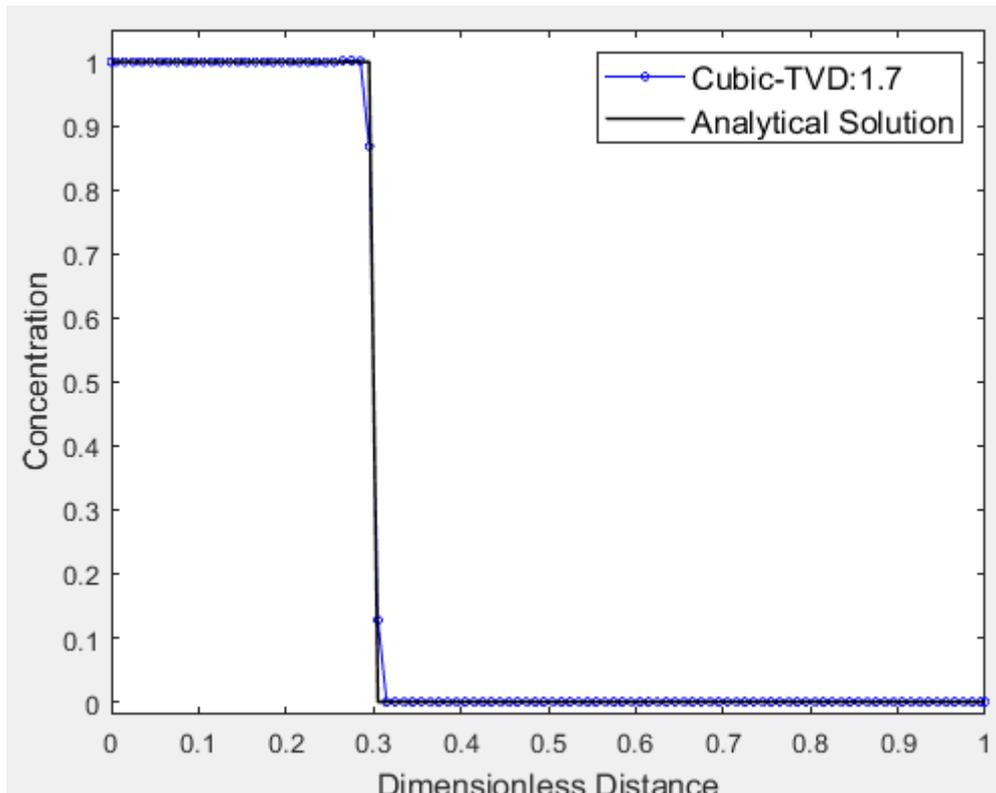
### 3. Findings and Discussion

In this study, it's observed that the small unphysical oscillation in figure 5 results from upper limit of cubic-TVD method and decreasing upper limit leads suppressing of unphysical oscillations. The upper limit of cubic-TVD method may be changed by 1.7 instead of 2 in order to remove all unphysical oscillation for this study. The value of 1.7 is obtained by trial and error method. This upper limit is not deterministic and it may change for different cases. However, it's well known that reducing upper limit suppresses unphysical oscillations. The highest value that does not cause unphysical oscillations must be selected in order not to diminish order of convergence.



**Figure 6.** Cubic-TVD method for 1.7 upper limit.

The limiter function must be in grayscale region (in figure 6) to achieve minimum second-order numerical schemes (Sweby, 1984). The proposed limiter function is in the grayscale area. Thus, it is minimum second-order accurate space discretization technique. Figure 7 shows numerical result of proposed model. The cubic-TVD method for 1.7 upper limit suppresses oscillations and it reduces numerical dispersion significantly. It has only 1.6% deviation from the analytical solution, which means it is almost the same as the exact solution. Consequently, the numerical result of the proposed model in figure 7 is the most suitable method and it is nearest to analytical solution compared to others.



**Figure 7.** Cubic-TVD method for 1.7 upper limit.

#### 4. Conclusion

This study deals with numerical solution of convection-diffusion equation using different space discretization techniques. Previously developed methods lead numerical errors especially for convection-dominated flow. It is observed that decreasing of upper limit of cubic-TVD method eliminates unphysical oscillation at flood front. This innovative approach reduces numerical errors substantially. Furthermore, proposed model is the nearest numerical solution to analytical solution compared to other numerical space discretization methods. Secondly, this study is to present a numerical simulator to solve transport equation and convection-diffusion equation. The Matlab codes and a Google drive link of this numerical simulator have been attached to Appendices. The developed numerical simulator is suitable for any grid dimension, several space discretization techniques, any space interval and time interval.

#### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

#### References

- Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H., & King, G. R. (2001). Basic applied reservoir simulation (Vol. 7). Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.
- Harten, A. (1984). On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 21(1), 1-23.
- Kamalyar, K., Kharrat, R., & Nikbakht, M. (2014). Numerical Aspects of the Convection–Dispersion Equation. *Petroleum science and technology*, 32(14), 1729-1762.
- Kurganov, A., & Tadmor, E. (2000). New high-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection–diffusion equations. *Journal of Computational Physics*, 160(1), 241-282.
- Leonard, B. P. (1979). A stable and accurate convective modelling procedure based on quadratic upstream interpolation. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 19(1), 59-98.
- Mazumder, S. (2015). Numerical methods for partial differential equations: finite difference and finite volume methods. Academic Press.
- Peaceman, D. W. (2000). Fundamentals of numerical reservoir simulation. Elsevier.
- Peng, Y., Liu, C., & Shi, L. (2013, August). Solution of Convection-Diffusion Equations. In *International Conference on Information Computing and Applications* (pp. 546-555). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sarra, S. A. (2003). The method of characteristics with applications to conservation laws. *Journal of Online mathematics and its Applications*, 3, 1-16.
- Sweby, P. K. (1984). High resolution schemes using flux limiters for hyperbolic conservation laws. *SIAM journal on numerical analysis*, 21(5), 995-1011.
- Wolcott, D. S., Kazemi, H., & Dean, R. H. (1996, October). A practical method for minimizing the grid orientation effect in reservoir simulation. In *SPE annual technical conference and exhibition*. OnePetro.

## Symbols

$C$  = concentration  
 $D$  = physical dispersion  
 $Nc$  = courant number  
 $\Delta t$  = timestep  
 $\Delta x$  = space interval  
 $u$  = velocity

## Subscripts

$i$  = index for blocks in the  $x$  direction  
 $i - \frac{1}{2}$  = index for left face values  
 $i + \frac{1}{2}$  = index for right face values

## Superscripts

$n$  = old timestep  
 $n + 1$  = current timestep

## Appendices

### Appendix A. Sub-function to run the numerical simulator.

```

function y=TVD(x)
% Select Space Discretization Method(SDM)
% For First Order Upstream Method -> SDO=1
% For Second Order Central Method -> SDO=2
% For Third Order Upwinding (Leonard-Cubic) Method -> SDO=30
% For Third Order Upwinding (TVD with Leonard-Cubic) -> SDO=31
SDO=31;
if SDO==1; y=0; %First Order Upstream
elseif SDO==2; y=x; %Second Order Central
elseif SDO==30; y=(2*x+1)/3; %Third Order Upwinding (Leonard-Cubic)
elseif SDO==31; y=max(0,min([1.7,2*x,(2*x+1)/3])); (TVD with Leonard-Cubic)
end
end
  
```

### Appendix B. The numerical simulator.

**Note:** In order to run Matlab codes in APPENDIX B, it's required to get "TVD.m" Matlab file. It can be obtained using APPENDIX A. The name of the Matlab file must be "TVD" without quotes. Secondly, designed TVD.m Matlab file and the numerical simulator mfile (in Appendix B) must be at the same path. Thirdly, if you don't want to use Appendix A and B in order to run Matlab file, you can use Appendix C.

```

tic; clc; clearvars;
I=100;%Number of nodes at i-direction
dx=0.1;%Space interval
X=[0 dx/2:dx:I*dx-dx/2 I*dx];%Distance
t=3;%Total simulation time
dt=0.05;%Time interval
vf=1;%Velocity*(df/du)
L=vf*dt/dx;%Courant Number
  
```

```

D=0;%Physical dispersion
Up(1:I)=0;%Initial Condition
b1=1; bI=0;%Boundary Condition
Un(1:I)=NaN;
for n=1:t/dt%Time iteration
%%Numerical Solution
for i=1:I
if i==1
WW=NaN; W=2*b1-Up(i); P=Up(i); E=Up(i+1);
w=b1; e=P+0.5*max(0,TVD((E-P)/(P-W)))*(P-W);
elseif i==2
WW=2*b1-Up(i-1); W=Up(i-1); P=Up(i); E=Up(i+1);
w=W+0.5*max(0,TVD((P-W)/(W-WW)))*(W-WW); e=P+0.5*max(0,TVD((E-P)/(P-W)))*(P-W);
elseif 2<i && i<I
WW=Up(i-2); W=Up(i-1); P=Up(i); E=Up(i+1);
w=W+0.5*max(0,TVD((P-W)/(W-WW)))*(W-WW); e=P+0.5*max(0,TVD((E-P)/(P-W)))*(P-W);
elseif i==I
WW=Up(i-2); W=Up(i-1); P=Up(i); E=2*bI-Up(i);
w=W+0.5*max(0,TVD((P-W)/(W-WW)))*(W-WW); e=bI;
end
Un(i)=dt*(D*(E-2*P+W)/dx^2-vf*(e-w)/dx)+P;
end
Up=Un;
%%Analytical Solution
i=1; Ua(1:I)=NaN;
for x=X
if D==0
Ua(i)=1-heaviside(x-vf*dt*n); %Analytical Solution with MoC
else
Ua(i)=0.5*erfc((x-vf*dt*n)/(2*(D*dt*n)^0.5))+0.5*exp(vf*x/D)*erfc((x+vf*dt*n)/(2*(D*dt*n)^0.5));
end
i=i+1;
end
% Plot Solution
set(gcf, 'Units', 'Normalized', 'OuterPosition', [0 0 1 1]);
plot(X/I/dx,[b1 Un bI], 'gv-', 'markerfacecolor', 'g');
hold on
plot(X/I/dx,Ua, 'k-', 'linewidth', 2);
xlabel('Dimensionless Distance', 'fontsize', 12)
ylabel('Concentration', 'fontsize', 12)
legend('Numerical Solution', 'Analytical Solution')
hold off; pause(0.001)
end
toc

```

### Appendix C. Google Drive link.

In order to reach Matlab files, please use following Google Drive link:

[https://drive.google.com/drive/folders/1nyO1gi3oBAKIMI4Zo8\\_kspIAwpZy-Qq1?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1nyO1gi3oBAKIMI4Zo8_kspIAwpZy-Qq1?usp=sharing)



## Clonal Selection of 'Mincane' Hazelnut cv: Physical Properties

Ali TURAN<sup>1\*</sup>

### Abstract

This study was conducted to identify Mincane cv clones with superior physical traits in the Trabzon province, Maçka district, Esiroğlu region between 2014 and 2019. Selection research in the study area based on the study objective revealed 14 Mincane clones with superior traits. In these selected clones, yield, number of nuts per cluster, nut characteristics, kernel characteristics, nut weight, shell thickness, kernel weight, kernel percentage, shriveled kernel, kernel cavity, blank kernel, split suture, black-tipped kernel, piccola nut, lemoning, sour lemon taste, tumor ratio, good kernel, defective kernel, fibrousness, bleaching ability, perforated nut traits, and sensory and color properties were investigated. Physical traits varied greatly within the Mincane cv, and this difference was statistically significant ( $P<0.001$ ). It was concluded that the  $G_1$ ,  $G_6$ ,  $G_4$ , and  $G_{11}$  clones were promising and that it would be useful to closely monitor the  $G_{13}$  clone.

**Keywords:** Genotype, nut quality, plant breeding, pomology, sensory analyses

## Mincane Fındık Çeşidinde Klon Seleksiyonu: Fiziksel Özellikler

### Öz

Bu araştırma 2014-2019 yılları arasında Trabzon ili Maçka ilçesi Esiroğlu bölgesinde Mincane fındığının fiziksel özellikleri bakımından üstün klonlarını belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü alanda amaca yönelik yürütülen seleksiyon çalışması sonucunda 14 adet Mincane klonu bazı özellikleri bakımından üstün bulunmuştur. Seçilen bu klonlarda verim, çotanaktaki meyve sayısı, kabuklu meyve özellikleri, iç özellikleri, meyve ağırlığı, kabuk kalınlığı, iç ağırlığı, randıman, buruşuk iç oranı, göbek boşluğu, boş iç oranı, çıtlak meyve oranı, siyah uçlu iç, pikola fındık oranı, limonlaşma, ekşi limonlu, urlu iç, dolgun iç, kusurlu iç, liflilik, beyazlama oranı, delikli meyve, duyuusal analizler ve renk özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonrasında Mincane fındık çeşidi içerisinde fiziksel özellikler bakımından büyük bir varyasyon olduğu görülmüş ve bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $P<0.001$ ). Çalışma sonucunda  $G_1$ ,  $G_6$ ,  $G_4$  ve  $G_{11}$  klonlarının ümitvar olduğu görülmüş, ayrıca  $G_{13}$  klonunun da dikkatlice takip edilmesinin yararlı olacağı anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Genotip, meyve kalitesi, bitki ıslahı, pomoloji, duyuusal analizler

<sup>1</sup>Giresun University, Hazelnut Expertise Program, Technical Sciences Vocational School, Giresun, Turkey, ali.turan@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2961-6605>

## 1. Introduction

The hazelnut of the genus *Corylus*, which belongs to the birch (*Betulaceae*) family and grows as a shrub or small tree, is one of the most consumed hard-shelled fruits worldwide. Hazelnut is also one of the leading crops globally among nuts. The hazelnut has been grown in Anatolia since ancient times, and the Black Sea region of Turkey has the most suitable habitat for its cultivation. It is one of Turkey's most important export crops. The hazelnut production in Ordu, Giresun, Trabzon, Bolu, Sakarya, and Samsun, located in the Black Sea region, accounts for nearly 90% of Turkey's total. In the Black Sea region, summers are cool (23°C–24°C), winters are mild (5°C–7°C), heavy precipitation is observed, and the interior is generally characterized by a continental climate. The mountains that run parallel to the coast limit agricultural areas and influence the climate. In the Black Sea region, which has the greatest amount of rainfall in Turkey, the mountains prevent humidity from passing from the coastal areas to the interior districts, causing vegetation to differ (Öztürk and Serttaş, 2018; Turan and İslam, 2020).

Because of these climate characteristics, this region produces the world's highest quality hazelnuts. Aside from direct consumption, hazelnut is widely used in the food industry as an ingredient or as hazelnut oil. Hazelnut is a nutrient-rich food because of its high content of amino acids and fatty acids (Dönmez et al., 2016). It is important in human nutrition and health because of its composition of mono- and polyunsaturated oleic and linoleic fatty acids, sterols, essential minerals, free phenolic acids, phenolic compounds, and organic acids (Shafiei et al., 2020). In addition to being consumed as a snack, hazelnuts are widely used in the food industry as whole, chopped, or flour. In addition, the use of hazelnut oil is important in the food industry, and 80% of hazelnuts are processed in the production of chocolate; 15% in the confectionery, biscuit, and pastry industries; and 5% is consumed fresh without processing (Cansev et al., 2018).

Its antioxidants have anticancer and antiatherosclerotic properties, and phytochemicals and phenolic compounds protect against the harmful effects of cancer and oxidative stress (Yılmaz et al., 2019). The nutritional value of hazelnut varies based on cultivar, harvest season, drying method, clonal differences, nutrition, altitude, and habitat (Turan, 2018). However, it is well known that the most important factor is the genetic structure of the variety and/or clone (Turan, 2007; İslam, 2019). Many characteristics distinguish economically valuable hazelnut varieties, including the number of nuts per cluster (NPC), nut and kernel weight, efficiency, shell thickness, bleaching ability (BA), shriveled kernel ratio, and split suture ratio. However, clones with high yield and industry-oriented superior quality traits are preferred for cultivar breeding.

To make this decision, the breeder must investigate and evaluate more than one factor affecting complex traits, such as yield, which are controlled by multiple genes. Accordingly, extensive research

into the physiology of traits controlled by different genes is required. Thus, in selection breeding programs, it is critical to investigate correlations between different traits and their economic importance. A positive correlation between two or more traits enables the simultaneous breeding of multiple variants, while a negative correlation indicates the need for an association between desirable traits (İşbakan and Bostan, 2020). In addition, these quantitative characteristics can be greatly affected by environmental factors. In other words, they have the potential to be far more variable than single gene traits. Therefore, breeders must be knowledgeable about the causes of yield variability in various environmental conditions. Otherwise, all the work and effort will be in vain.

Numerous selection studies have been conducted since 1969 (İslam, 2000; Turan, 2007; Turan and Beyhan, 2009; Göğüs, 2015; Pekdemir, 2019; Şahin, 2019; Kan, 2019; İslam and Çayan, 2019), and breeding selection methods are still being researched in the agricultural field. Plant mutation and natural hybridization can cause a wide range of variation within a variety. Therefore, selecting clones with desired traits among the variations is critical for breeders (İslam, 2019). Because the novel variations may have a higher economic value than the source variety or vice versa, selection breeding studies are ongoing.

Unfortunately, most selection breeding studies have been conducted and are being conducted in extremely large areas and with a large number of materials. However, field studies have revealed that specific investigations into a limited area produce more significant results. In addition, most of these studies have similar selection criteria, and there are few studies with well-defined cultivar characteristics.

Hazelnuts are one of the most popular nuts because they are not only delicious but also high in calories. They can be consumed fresh or blanched. Hazelnuts are used in bakery products, confectionery, and chocolates as well as in some high-end products, such as chopped hazelnuts and hazelnut milk (Fan et al., 2020). Hazelnut oil, which is rich in high-quality unsaturated fatty acids, is used as a cooking oil with a yellow color and flavor (Matthaus et al., 2012). Aside from it being edible, hazelnut oil can be used to make soap, cosmetics, candles, and other household items (Alaşalvar et al., 2006).

Because the shape and size of the hazelnut affect the machine configuration used in the integrated facilities, the commercial identification of the shelled and kernel hazelnut varieties to be processed is based on physical characteristics known as morphological characteristics (Turan, 2007; Hosseinpour et al., 2013; Krol et al., 2020). However, statistical analysis based on genetic and/or metabolomic markers is considered a more appropriate method for obtaining a clear definition of hazelnut cultivars, taking into account their geographical origins (Ghisoni et al., 2020).

There are 20 standard hazelnut cultivars in Turkey, and variety registration trials are ongoing. Except for newly registered varieties, all other varieties show significant variation, necessitating the

continuation of selection studies. Selection of commercially produced Tombul, Foşa, and Palaz cultivars has started and is still ongoing. However, no selection studies have been conducted on the Mincane cv, which originates from Trabzon. When ongoing selection breeding studies for many years were examined, it was discovered that studies were conducted in a wide area with a large number of materials. This complicates and prolongs the selection of superior clones. With a large number of potential varieties in Turkey, a lack of completed selection studies, even in the Eastern Black Sea region, has a negative impact on the country's agricultural activities. It is critical to close this gap immediately and to conduct detailed studies in limited areas. Detailed studies in specific areas can reduce the likelihood of error ratio and material-based issues.

A comprehensive selection study was conducted in a limited area in the Trabzon province, Maçka district, Esiroğlu region. The present study aimed to select clones with superior characteristics by thoroughly examining all villages and neighborhoods around the valley. It has been concluded that the study data will lead to further research in the region and that the evaluation of the obtained clones will contribute significantly to the hazelnut industry.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Hazelnut samples

For the selection study, all villages in the region were examined and 14 hazelnut gardens with a size of at least 5 da that were not treated with chemical pesticides were selected (Table 1). During the selection process, technical staff from the District Directorate of Agriculture, agricultural consultants, headmen, villagers, and garden owners provided information and support. The study was conducted on three plants (branches) aged ~25 years from each orchard representing the selected hazelnut orchard. During the study period, ammonium nitrate fertilizer ( $5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\text{NH}_4\text{NO}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , CAN %26N) was observed to be used for top dressing (~50 kg/da) once a year in the middle of March; sucker shoots and weeds were pruned twice a year; and dried and old (>50%) branches were cut with no further application. These selected orchards have been studied for 5 years in terms of yield and resistance to diseases and pests. According to TGHB (2017), hazelnut orchards with regular yields and below the required threshold value for agricultural control against diseases (*Xanthomanas coryline* and *phyllactinia guttata*) and pests (*Balaninus nucum* L., *xyleborus dispar*, bud mite, and *palemona prasina*) were selected. Those clones with disease and/or pest detected above the threshold value were excluded from the ongoing study, and the study continued on the remaining material. During the study, ~200 hazelnut orchards were examined in detail. The identification, marking, harvesting, and drying processes of the selected gardens were carried out according to Turan and

Beyhan (2009). After drying, the samples were placed in a 1 kg paper bag and refrigerated at  $\sim 5^{\circ}\text{C}$  and 60–65% relative humidity until the measurements were taken (Bosch KDN53NW22N A, No–Frost, Germany).

**Table 1.** Sample codification, altitude and location of hazelnut clones

Clone code	Altitude (m)	Location (Latitude and longitude)
G1	682 m	39°52'41.38"N, 39°39'33.75"E
G2	771 m	40°52'27.50"N, 39°39'45.96"E
G3	205 m	40°52'41.59"N, 39°41'16.09"E
G4	424 m	40°52'50.04"N, 39°40'18.62"E
G5	347 m	40°51'35.00"N, 39°39'58.15"E
G6	280 m	39°51'09.71"N, 39°39'48.65"E
G7	396 m	40°55'05.18"N, 39°41'54.11"E
G8	209 m	40°52'15.97"N, 39°41'11.04"E
G9	195 m	40°52'11.11"N, 39°40'54.43"E
G10	227 m	40°52'37.24"N, 39°41'56.89"E
G11	476 m	40°51'13.89"N, 39°41'45.72"E
G12	308 m	40°52'09.49"N, 39°42'09.58"E
G13	460 m	40°53'57.43"N, 39°42'11.64"E
G14	341 m	40°52'56.87"N, 39°40'36.52"E

## 2.2. Physical measures: Shell and kernel traits

*Yield:* All three branches representing the orchard in the predetermined hazelnut orchards were harvested ( $\sim 27.6\%$  humidity), manually separated from the clusters (Turan, 2018), sun dried, and weighed on a scale with an accuracy of 0.001 g (Turan, 2021). The number of NPC was calculated by dividing the number of nuts per 100 randomly selected clusters from the harvested samples (Turan and Beyhan, 2009). The nut length, nut width, nut thickness, shape index, nut weight, kernel weight, kernel percentage, shell thickness, kernel cavity, blank nut, shriveled kernel, and good and defect kernel ratios were determined according to Turan (2019) and other traits according to Çetin et al. (2020). The color properties of the shell and kernels, including  $L$  (brightness),  $a$  (redness), and  $b$  (yellowness) values, were determined using the Hunter Lab Color Flex Ez color measurement device. Before the measurements, the device was calibrated as  $X: 79.05$ ,  $Y: 84.02$ ,  $Z: 89.03$ , and  $L$ ,  $a$ , and  $b$  values were determined by measuring from different points (Demir, 2018; Turan, 2021). The brightness or darkness of the color is represented by  $L$ , and its numerical value varies between 0 and 100. The color darkens as it gets closer to 0 and brightens as it gets closer to 100. The redness or greenness value of the color is represented by  $a$ , and  $a$  indicates redness in positive values and greenness in negative values. The yellowness or blueness value is represented by  $b$ . Similarly, when  $b$  has a positive value, the yellowness of the color dominates, and when  $b$  has a negative value, the blueness of the color dominates. Chroma ( $C$ ) is related to the dominant pastel or vivid tone in the

color. As the numerical value of the chroma increases, the vividness of the color increases. On the contrary, as the numerical value of the chroma decreases, the pastel tone dominates the color. Hue angle ( $\alpha^\circ$ ) represents the angle corresponding to the dominant color of the product (Alibaş et al., 2020). Sensory analysis was performed using the hedonic scale scoring test and consisted of 11 panelists in four different sessions (Şimşek, 2004). The panelists rated the hazelnuts from different orchards on a scale of 1–5 based on color, flavor, hardness, bitterness, foreign taste/smell, and overall evaluation.

### 2.3. Statistical analysis

Measurements were performed in triplicate on selected clones, and descriptive statistics were performed using SPSS v. 22.0 (Armok, New York: IBM Corp.). Statistical tests were conducted using SAS–JAMP v. 10.0 (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA). The difference between the results was determined at the  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$  and  $P < 0.001$  levels.

## 3. Results and Discussion

In breeding studies, yield is the most important selection criterion. First, the productive individual is selected, and then other physical and/or chemical properties are evaluated. Yield, on the contrary, causes an increase in the number of NPC, nut deformation and shrinkage, and a decrease in the shell thickness. Therefore, we believe that obtaining data that will not affect commercially standard fruit sizes would be appropriate. Otherwise, because branch thinning, which is widely used for other fruits, cannot be used for hazelnut clusters, the piccola hazelnut ratio will increase and the standard value will deteriorate because of nut shrinkage. In our study, the highest yield was 519.56 g for the  $G_1$  clone, and the lowest yield was 304.45 g for the  $G_8$  clone (Table 1); the difference between them was statistically significant ( $P < 0.001$ ).

Many factors, such as variety, nutrition, yield, habitat, and harvest season, affect nut size (Xu and Hanna, 2010; Ercişli et al., 2011; Turan, 2017; Turan and İslam, 2019). It is also known that the heritability of nut length, girth, and thickness is high ( $h^2 = 0.68, 0.78, \text{ and } 0.89$ , respectively) (Yao and Mehlenbacher, 2000). A high heritability indicates that they are less affected by environmental conditions. However, yield in hazelnuts is regarded as one of the most important factors influencing nut size. In addition, physical differences are observed even among nuts in a single cluster (Turan, 2017). During high-yielding seasons, the number of NPC and efficiency increase, while nut size and shell thickness decrease. An increase in the number of NPC causes a change in the shape value of the

nut. Even within a single variety, differences in the physical properties of the fruit can appear year to year.

The number of NPC has a direct impact on the size and shape of the nut, so the ideal number is four pieces per cluster. As the number of NPC increases, the size of the nuts decreases, and they exert pressure on each other, causing shape variability and/or deformation. On the contrary, a low number of NPC has an effect on fruit size and shell thickness, and ultimately, fruit standard. (Turan, 2021). Considering the abovementioned factors, all values were deemed acceptable because the number of nuts in all selected clones was 3–5 pieces per cluster.

No statistical difference was observed in or nut and kernel weight ( $P > 0.05$ ), but the difference in other traits was significant ( $P < 0.001$ ). This difference was considered normal as it fell within the range of values determined in previous studies. (Turan, 2007; Turan and Beyhan, 2009; Turan, 2019; Turan, 2021). Clones that were found to be above and below the standard during selection and research were excluded from the evaluation, resulting in values that fell within a certain range.

All shell and kernel shape index values were greater than one (1; Table 2). A slight upward trend has been observed. However, all of the determined values were less than 1.4, which is accepted as the index value of the Sivri cv (Köksal, 2018). Accordingly, we reported that all selected clones exhibited characteristics of round hazelnut varieties. It has been determined that the other shape index values usually have additional and general class 1 traits (Table 2). Although the difference in nut and kernel weight values was statistically insignificant ( $P > 0.05$ ), measurements ranged from 1.69 to 2.00g and from 0.90 to 1.10 g, respectively. The economic importance of the kernel nut is greater because it is the part that is processed for export and/or fresh consumption. In this regard, it was concluded that the G<sub>13</sub> clone exhibited better results in terms of nut weight, especially kernel weight.

**Table 2.** Mean value of physical traits of Mincane (cv) hazelnut clones

Parameters	Clone code					Sign.
	G1	G2	G3	G4	G5	
Yield (g)	519.56±27.20a	435.08±13.94c	432.93±2.37c	468.03±2.59b	406.25±6.91d	***
Nuts per cluster	3.94±0.10c	3.45±0.46d	4.18±0.13bc	3.90±0.06c	4.42±0.21b	***
Nut length (mm)	19.02±0.16bcd	19.44±0.48abc	19.58±0.27ab	19.07±0.79a-d	18.86±0.26b-e	**
Nut width (mm)	16.20±0.34	16.14±0.24	15.49±1.85	16.07±0.42	15.12±1.17	ns
Nut thickness (mm)	14.50±0.03b-e	14.14±0.27b-e	14.93±0.73bc	14.62±0.45bcd	13.47±0.50e	**
Kernel length (mm)	14.69±0.27abc	14.22±0.43bcd	15.35±0.44a	13.61±0.37d	13.62±0.55d	*
Kernel width (mm)	11.58±0.63	13.02±0.59	13.34±0.29	12.68±0.65	12.30±0.23	ns
Kernel thickness (mm)	11.81±0.61bcd	11.33±0.32de	11.67±0.21cd	12.21±0.70bc	11.22±0.26def	***
<b>Nut</b>						
Shape index	1.24±0.02a-d	1.28±0.04abc	1.29±0.07abc	1.24±0.05a-d	1.32±0.08a	**
Geometric diameter (mm)	16.47±0.10b	16.43±0.18b	16.51±0.34b	16.48±0.25b	15.65±0.52d	***
Volume (mm <sup>3</sup> )	2339.15±44.53b	2322.8±76.85bc	2360.05±143.96b	2344.98±106.50b	2012.39±204.12d	***
Surface area (mm <sup>2</sup> )	852.14±10.81b	848.11±18.77bc	856.99±35.06b	853.45±25.76b	770.25±51.74d	***
Sphericity	86.59±1.04b-e	84.53±1.89cde	84.35±2.89cde	86.50±2.27b-e	83.02±3.49e	**
<b>Kernel</b>						
Shape index	1.26±0.08	1.17±0.07	1.23±0.03	1.09±0.03	1.16±0.03	ns
Geometric diameter (mm)	12.61±0.31	12.80±0.15	13.37±0.18	12.81±0.10	12.34±0.27	ns
Volume (mm <sup>3</sup> )	1051.78±76.29bcd	1097.36±37.81bcd	1251.01±51.18abc	1101.61±26.18bcd	985.03±65.29d	**
Surface area (mm <sup>2</sup> )	499.95±24.32b	514.45±11.84ab	561.40±15.37ab	515.80±26.18ab	478.60±21.23b	**

Sphericity	85.92±3.63	90.06±3.74	87.13±1.40	94.16±1.98	90.63±1.74	ns
Nut weight (g)	1.83±0.07	1.87±0.08	1.90±0.04	1.90±0.20	1.81±0.08	ns
Kernel weight (g)	0.94±0.06	0.95±0.08	1.04±0.07	1.07±0.08	1.00±0.02	ns
Kernel percentage (%)	51.25±0.03e	50.50±0.05ef	54.81±0.07d	56.44±0.02b	55.39±bc	***
Shell thickness (mm)	0.97±0.08ef	1.11±0.09bcd	1.25±0.06a	1.02±0.14c-f	1.00±0.01def	**
Kernel cavity (mm)	1.15±0.59ef	1.88±0.42abc	1.95±0.38ab	1.45±0.54b-e	1.31±0.14c-f	**
Blank ratio (%)	6.64±0.91b	3.68±0.17g	4.47±0.69ef	2.02±0.18h	3.68±0.20fg	***
Picola nut (%)	4.15±0.47e	6.49±0.74c	1.60±0.20g	1.59±0.32g	5.40±0.20d	***
Shrivel kernel (%)	1.21±0.47cd	0.48±0.17gh	0.92±0.20def	0.85±0.18d-g	0.80±0.20d-g	***
Weevil kernel (%)	0.90±0.23a	0.68±0.17ab	0.92±0.02a	0.32±0.03bcd	0.34±0.05bcd	**
Grey colour kernel (%)	7.39±0.69c	4.94±0.29de	4.12±0.91fgh	3.50±0.32h	4.25±0.20efg	***
Black colour kernel (%)	9.50±0.45f	18.22±0.73a	9.74±0.72ef	6.37±0.32g	5.86±0.35g	***
Tumor kernel (%)	1.8±0.23cd	1.55±0.17d	1.03±0.34e	0.85±0.36ef	0.00±0.00g	***
Fibrousness	7.67±1.15bc	8.33±1.15ab	7.67±1.15bc	5.00±0.00e	6.33±1.15d	***
Good kernel (%)	69.46±0.68g	64.53±0.77h	83.39±0.87b	85.35±0.85a	81.68±2.22c	***
Defect kernel (%)	30.54±0.68c	35.47±0.77b	16.61±0.87h	14.65±0.85i	18.65±2.22g	***
Pellicle removal (%)	95.17±0.86cd	94.31±0.97d	91.02±0.13e	97.34±0.37ab	95.19±0.93bcd	***
Whole pellicle removal (%)	53.27±1.13g	63.17±2.05c	59.55±3.05de	74.33±0.58b	63.89±0.64c	***

Data represent the mean ± SD (n=3). Significant level; \*, \*\*, \*\*\* and “ns” mean significance at p< 0.05, 0.01, 0.001 and “not significant”, respectively, among clones.

The kernel ratio appears to be an overrated characteristic. The hazelnut market considers this trait to be equal to or even superior to variety variations. Is high efficiency a desirable trait because pricing is done with more than 50% efficiency? Or why is the Uzunmusa cv, which has the highest yield, not considered the highest quality hazelnut? The features that distinguish hazelnut varieties and make them valuable are regular yield and standard-sized nut formation. In contrast, high kernel fullness causes stress when crushing because of the reduced space between the hard shell and kernel. Therefore, an efficiency value of 50%–54% would be preferable. The belief that the hazelnut with the highest efficiency has the best quality is incorrect. The chemical composition of the hazelnut as well as the cracking and processing operations causing the least amount of damage are essential. Increased damage and/or defective kernel ratio is not preferred by the hazelnut industry because it increases the costs. In the present study, the G<sub>12</sub> clone had the lowest efficiency (47.12%), and the G<sub>6</sub> clone had the highest efficiency (58.81%) (Table 2), with the G<sub>3-6</sub> and G<sub>13</sub> clones having superior values.

**Table 2.** (continued1)

Parameters	Clone code					Sign.
	G6	G7	G8	G9	G10	
Yield (g)	368.43±2.50g	400.85±3.87e	304.45±3.05i	388.55±2.28ef	381.89±3.13fg	***
Nuts per cluster	3.25±0.10d	4.85±0.34a	3.32±0.32d	3.23±0.21d	4.48±0.25ab	***
Nut length (mm)	18.90±0.26b-e	18.39±0.54de	18.18±0.23e	19.37±0.55abc	19.14±0.27abc	**
Nut width (mm)	15.89±0.38	16.55±0.57	15.47±1.05	15.89±0.67	15.85±0.63	ns
Nut thickness (mm)	14.57±0.29b-e	13.67±1.59de	13.87±0.68cde	13.73±0.63de	14.50±0.46b-e	**
Kernel length (mm)	13.95±0.47cd	13.82±0.20cd	14.14±0.48bcd	14.46±0.59a-d	15.06±0.85ab	*
Kernel width (mm)	13.18±0.14	12.29±0.02	12.85±0.50	13.23±1.06	12.00±1.00	ns
Kernel thickness (mm)	10.40±0.52f	11.51±0.51cde	11.82±0.35bcd	10.82±0.65ef	12.05±0.95bcd	***
Nut						
Shape index	1.24±0.03a-d	1.22±0.11b-e	1.24±0.06a-d	1.31±0.10ab	1.26±0.03abc	**
Geometric diameter (mm)	16.35±0.23bc	16.06±0.49bcd	15.74±0.63cd	16.16±0.34bcd	16.38±0.04bc	***
Volume (mm <sup>3</sup> )	2291.05±95.84bcd	2173.14±196.94bcd	2047.79±240.13cd	2212.13±136.90bcd	2301.07±16.07bc	***
Surface area (mm <sup>2</sup> )	840.33±23.36bcd	810.85±49.47bcd	779.03±61.41cd	820.79±34.01bcd	842.89±3.92bc	***
Sphericity	86.53±1.16b-e	87.45±5.17bcd	86.57±2.57be	83.51±3.96de	85.59±1.24cde	**



Kernel						
Shape index	1.18±0.07	1.16±0.01	1.15±0.01	1.20±0.03	1.25±0.09	ns
Geometric diameter (mm)	12.41±0.14	12.50±0.24	12.90±0.42	12.74±0.67	12.94±0.41	ns
Volume (mm <sup>3</sup> )	1000.02±34.81cd	1023.80±60.29bcd	1126.82±108.37bcd	1088.58±175.15bcd	1138.38±105.70bcd	**
Surface area (mm <sup>2</sup> )	483.56±11.25b	491.12±19.22b	523.30±33.80ab	510.80±54.28b	526.90±32.95ab	**
Sphericity	88.99±3.56	90.48±0.68	91.27±0.28	88.05±1.25	86.07±4.03	ns
Nut weight (g)	1.69±0.30	1.87±0.03	1.88±0.04	1.85±0.15	1.82±0.06	ns
Kernel weight (g)	0.97±0.07	0.94±0.12	0.97±0.06	0.90±0.21	0.93±0.05	ns
Kernel percentage (%)	58.81±0.04a	50.23±0.01ef	51.32±0.09e	48.08±0.10g	51.17±0.08e	***
Shell thickness (mm)	1.09±0.07b-e	1.15±0.04abc	1.04±0.11cde	1.18±0.03ab	1.02±0.03c-f	**
Kernel cavity (mm)	1.47±0.27b-e	1.32±0.06c-f	1.60±0.04b-e	1.59±0.35b-e	1.27±0.09def	**
Blank ratio (%)	5.59±0.33cd	5.66±0.19cd	5.13±0.37cde	5.38±0.18cde	8.26±1.53a	***
Picola nut (%)	9.43±0.50a	4.69±0.18e	7.82±0.42b	6.42±0.36c	2.69±0.47f	***
Shrivel kernel (%)	0.44±0.19gh	0.33±0.00h	1.83±0.37ab	0.72±0.18e-h	0.93±0.00de	***
Weevil kernel (%)	0.11±0.02d	0.54±0.08a-d	0.98±0.06a	1.03±0.08a	0.31±0.00bcd	**
Grey colour kernel (%)	5.04±0.19d	3.71±0.37gh	12.33±0.56b	7.14±0.31c	4.54±0.18def	***
Black colour kernel (%)	11.18±0.33cd	10.57±0.83de	11.60±0.56c	6.62±0.47g	11.66±0.65c	***
Tumor kernel (%)	2.41±0.19b	1.74±0.19cd	0.98±0.21e	1.03±0.18e	0.72±0.18ef	***
Fibrousness	7.67±1.15c	7.00±0.00cd	7.67±1.15bc	7.00±0.00cd	9.00±0.00a	***
Good kernel (%)	68.75±0.33g	75.46±0.33d	62.27±0.37i	73.69±0.80e	72.14±0.93f	***
Defect kernel (%)	31.25±0.33c	24.54±0.33f	37.73±0.37a	26.31±0.80e	27.86±0.93d	***
Pellicle removal (%)	95.51±0.56bcd	82.73±3.32f	93.92±0.69d	80.64±1.17f	95.42±0.63bcd	***
Whole pellicle removal (%)	65.37±0.66c	57.03±1.31ef	55.20±1.65fg	58.7±1.10e	57.13±3.73ef	***

Data represent the mean ± SD (n=3). Significant level; \*, \*\*, \*\*\* and “ns” mean significance at p< 0.05, 0.01, 0.001 and “not significant”, respectively, among clones.

**Table 2.** (continued2)

Parameters	Clone code				Sign.
	G11	G12	G13	G14	
Yield (g)	300.63±3.44i	346.48±3.50h	386.90±5.53ef	407.94±2.25d	***
Nuts per cluster	4.23±0.20bc	3.28±0.19d	3.43±0.12d	3.42±0.17d	***
Nut length (mm)	19.79±0.36a	19.23±0.19abc	18.84±0.39cde	18.20±0.72e	**
Nut width (mm)	17.50±0.46	15.70±0.52	17.05±0.91	16.77±0.72	ns
Nut thickness (mm)	15.25±0.31ab	14.27±0.86b-e	16.07±0.29a	14.47±0.76b-e	**
Kernel length (mm)	14.77±0.75abc	14.64±0.71abc	14.69±0.60abc	14.12±0.96bcd	*
Kernel width (mm)	12.96±0.60	12.71±0.34	13.98±1.21	12.45±0.31	ns
Kernel thickness (mm)	12.65±0.57ab	11.49±0.36cde	13.27±0.22a	11.21d±0.13ef	***
<b>Nut</b>					
Shape index	1.21±0.01cde	1.29±0.06abc	1.14±0.01e	1.17±0.02de	**
Geometric diameter (mm)	17.41±0.30a	16.28±0.49bcd	17.28±0.47a	16.41±0.73bc	***
Volume (mm <sup>3</sup> )	2766.45±139.85a	2258.10±200.53bcd	2705.50±217.17a	2320.93±316.73bc	***
Surface area (mm <sup>2</sup> )	952.83±32.28a	831.87±49.52bcd	938.51±50.59a	846.60±76.23bc	***
Sphericity	87.99±0.43abc	84.58±2.50cde	91.71±0.62a	90.11±0.94ab	**
<b>Kernel</b>					
Shape index	1.15±0.09	1.21±0.05	1.08±0.09	1.55±0.68	ns
Geometric diameter (mm)	13.42±0.09	12.88±0.30	13.96±0.41	13.35±0.33	ns
Volume (mm <sup>3</sup> )	1264.88±25.71ab	1119.60±80.35bcd	1426.41±124.85a	1037.88±129.43e	**
Surface area (mm <sup>2</sup> )	565.59±7.68ab	521.23±24.81ab	612.44±35.93a	475.34±27.16c	**
Sphericity	91.02±4.60	88.07±2.75	95.15±5.02	92.42±2.28	ns
Nut weight (g)	1.91±0.04	1.95±0.05	2.00±0.05	1.94±0.07	ns
Kernel weight (g)	0.97±0.04	0.92±0.11	1.10±0.05	1.00±0.02	ns
Kernel percentage (%)	50.74±0.05ef	47.12±0.13g	55.08±0.07cd	51.48±0.04e	***
Shell thickness (mm)	0.91±0.08f	1.14±0.12abc	1.03±0.09c-f	1.02±0.04c-f	**
Kernel cavity (mm)	1.77±0.54a-d	1.48±0.34b-e	2.35±0.32a	0.81±0.06f	**
Blank ratio (%)	4.92±0.28de	5.98±0.34bc	5.58±0.23cd	2.81±0.16gh	***
Picola nut (%)	1.59±0.27g	9.86±0.20a	7.91±0.23b	5.54±0.16d	***
Shrivel kernel (%)	1.58±0.55bc	0.76±0.18e-h	2.08±0.22a	0.36±0.16h	***
Weevil kernel (%)	0.32±0.00bcd	0.76±0.01ab	0.13±0.00cd	0.64±0.01bcd	**
Grey colour kernel (%)	5.24±0.48d	5.27±0.40d	1.69±0.23i	13.17±0.41a	***
Black colour kernel (%)	9.05±0.48f	15.06±0.50b	2.72±0.39h	15.44±0.16b	***
Tumor kernel (%)	0.00±0.00g	2.10±0.20bc	3.37±0.60a	0.46±0.16f	***

Fibrousness	9.00±0.00a	7.00±0.00cd	9.00±0.00a	9.00±0.00a	***
Good kernel (%)	80.95±0.48c	64.78±0.34h	82.10±0.39bc	62.67±0.27i	***
Defect kernel (%)	19.05±0.48g	35.22±0.34b	17.90±0.39gh	37.33±0.27a	***
Pellicle removal (%)	99.37±0.83a	96.86±0.48bc	94.12±1.55d	95.19±1.93bcd	***
Whole pellicle removal (%)	93.20±0.88a	53.75±1.46g	62.59±2.25cd	49.32±2.18h	***

Data represent the mean ± SD (n=3). Significant level; \*, \*\*, \*\*\* and “ns” mean significance at  $p < 0.05$ , 0.01, 0.001 and “not significant”, respectively, among clones.

The average shell thickness of hazelnuts is 1 mm, with values well above 1 mm considered a thick shell. Therefore, a shell thickness of less than 1 mm is considered suitable for market use (Turan, 2021). According to our study, the shell thickness was approximately 1 mm. The G<sub>11</sub> clone had the lowest value, which distinguished it from other clones. Except for the G<sub>3</sub> clone, which has a shell thickness of 1.25 mm, it can be concluded that the clones are at an acceptable level.

The kernel cavity is an unstable trait that varies among varieties (Turan, 2007). In addition, the size of the internal cavity differs between the nuts within a single cluster based on the size of the nuts (Turan, 2021). No clones that differed or were severely defective in terms of this nut trait were found in our study.

In studies on pistachios, harvest season, irrigation status, plant nutrition, pruning, and rootstock have all been found to be effective on split sutures (Ertürk et al., 2015). In addition, it has been stated that splitting is a trait of variety and has a low incidence in domestic varieties (Özçağırın et al., 2005). Among the other hard-shelled nuts, the heritability of this trait has been reported to be  $h^2=0.48$  in chestnut (Nishio et al., 2014). There have only been a few studies on the splitting trait of hazelnut. However, it is known that this trait is frequently observed in some cultivars. Split sutures have been found in both filled and poorly filled hazelnuts. It has been proposed that a hazelnut’s genetic structure may contain such a trait. A high ratio of this trait is undesirable because it causes an increase in the black-tipped kernel ratio in hazelnuts. Black tips on kernels have been linked to nuts with split or weak sutures (Turan, 2007; Turan, 2017), implying that an increase in the split suture ratio affects the black-tipped kernel ratio. Therefore, clones with split sutures in the orchard were excluded during the first stage of selection.

Hazelnuts with a nut size of less than 9 mm are classified as “picola” (small hazelnuts) (Fiskobirlik, 2004) and are generally not offered to the market; they are threshed and consumed as a snack. A high picola ratio is undesirable because it is unsuitable for industrial processing, leading to a cost increase. However, after bleaching, it is regarded as the class with the highest price range. Higher sale prices may be implemented because more labor is needed during the bleaching process. Moreover, it is valuable as a snack because it has superior taste properties compared to plump nuts. The lowest value was found in the G<sub>4</sub> and G<sub>11</sub> clones (1.59%), and the highest value was detected in the G<sub>6</sub> (9.43%) and G<sub>12</sub> clones (9.86%). It would be better not to select these two clones with the

highest value. Although picola hazelnut is a popular snack, it is not preferred because of increased costs and a lower nut standard. Currently, its consumption is uncommon, but if it becomes widespread and highly preferred in the market, clones with superior picola ratios may be evaluated. Blanched hazelnuts are unavailable in the domestic market owing to their high price. Because picola hazelnuts are more expensive, it is expected that consumption will be limited among the general population.

A low shriveled kernel ratio is preferred because it reduces BA and efficiency. Besides nut size, it is generally accepted that the most important traits affecting price are the BA and market efficiency value. In addition to variety, pricing is based mainly on commercial BA and a 50% yield in hazelnut purchases. Furthermore, shriveled kernel is influenced by many factors, such as soil structure, altitude, early harvest, clonal difference, variety, and climate (Turan and Beyhan, 2009, Kalkışım et al., 2016). The highest shriveled kernel ratio was observed in the G<sub>13</sub> clone (2.08%) and the lowest in the G<sub>7</sub> (0.33%) clone (Table 2). When other studies were examined (Turan, 2007; Turan and Beyhan, 2009; Turan, 2017; Turan, 2019; Turan, 2021), it was found that even the highest value in our study was very low compared to previous studies. It was assumed that a population with a higher shriveled kernel ratio as a nut trait had been detected.

The hazelnut worm (*Curculio nucum*) is known to be the most important pest in the hazelnut production areas worldwide (Saruhan and Tuncer, 2010; Saruhan et al., 2010). Saruhan and Şen (2016) stated that the damage caused by hazelnut worms varies according to the cultivar, and this damage varies in varieties such as Mincane (4.57%), Sivri (3.81%), Palaz (2.80%), Çakıldak (2.80%), Tombul (2.77%), and Karafındık (2.48%). Even the highest value of 1.03% (G<sub>9</sub>) obtained in our study was well below the previous data. These data show that the search method used in the orchard selection processes at the selection stage is appropriate. In the present study, orchards that were determined to be above the threshold value were excluded in the first stage, and orchards free of agricultural pesticides were selected. As a result, it can be predicted that the selected clones are less damaged and/or resistant to hazelnut worm damage compared to the eliminated clones and other studies.

Lemoning is defined as the formation of a dark yellow color around the part of hazelnut kernels that begins to deteriorate due to oil oxidation (Fiskobirlik, 2004; Turan, 2018). Sour lemon hazelnut kernels are defined as hazelnut kernels with distorted taste, color, and odor that leave a slightly sour taste and burn the mouth due to oxidized fat (Turan, 2017). Both traits appear after an insect sucks the kernel nut, and they develop depending on the cultivar practices. The lowest lemoning and sour lemon values were observed in the G<sub>13</sub> (1.69%–2.72%, respectively) clone; the highest lemoning was recorded in the G<sub>1</sub> clone (12.333%); and the highest sour lemon value was recorded in the G<sub>2</sub> clone (18.22%). The amount of oil oxidation that occurs during lemoning varies depending on the variety (Turan, 2019; Turan, 2021). Hazelnut varieties high in unsaturated fatty acids are also more sensitive

to fat oxidation (Turan et al., 2022). As a result, it was observed that the G<sub>13</sub> clone was superior to the others in this trait.

Because the type of “stained kernel” damage caused by the green skunk cannot be distinguished by the external appearance, the producer is free to sell these products. No effort was made to mitigate this damage. However, the impact of “stained kernel” on hazelnut exports is critical. Stained kernel damage deteriorates the taste and appearance of the product, causing problems especially during the chocolate production process and when used as nuts (Saruhan and Tuncer 2010; Turan, 2021). Therefore, low or no damage is desired. No kernel tumor damage was detected in G<sub>5</sub>–G<sub>11</sub> clones, whereas the highest value of 3.37% was recorded in the G<sub>13</sub> clone.

The increase in the fiber ratio caused a decrease in the BA of hazelnut. Therefore, it is preferred that the hazelnut kernels are fiber-free or have a low fiber content (Turan, 2007). In the present study, the lowest fiber ratio was detected in G<sub>10</sub>–G<sub>13</sub> clones (9; fiber-free), while the highest fiber ratio was detected in the G<sub>4</sub> clone with the lowest score (5; moderate) (Table 2). Although Turkish hazelnut varieties vary in terms of fiber content (Turan, 2007), it is known that the Mincane hazelnut variety is generally fiber-free (Köksal, 2018).

The good kernel ratio is influenced by many features, including variety, soil characteristics, cultivar practices, and some nut defects with high heritability (Turan, 2017). Mehlenbacher et al. (1993) reported that the heritability of the good kernel ratio was  $h^2=0.415$ . This feature also varies from year to year (Turan, 2019). The highest plump kernel ratio was detected in the G<sub>4</sub> clone, which also has the lowest defective kernel ratio (Table 2). The lowest good kernel ratio was found in the G<sub>8</sub> clone (62.27%). Commercially, the highest good kernel ratio was preferred because it reduced production costs. Clones with a higher defective kernel ratio should be eliminated.

High BA is one of the main traits sought in products to be exported (Turan, 2017; Turan, 2019; Turan, 2021). It is reported that the heritability of BA, which is affected by many factors such as soil structure, habitat, and variety, is  $h^2 = 0.64$  (Yao and Mehlenbacher, 2000). The highest BA was observed in the G<sub>11</sub> clone (99.37%), and this value was higher than that of the Tombul cv (Turan, 2007). Therefore, the G<sub>11</sub> clone must be evaluated and preserved. The sensory analysis and general evaluation showed that the G<sub>6</sub> (4.33), G<sub>9</sub> (4.00), and G<sub>14</sub> (4.00) clones have higher scores.

The *L* value was high in clones G<sub>1</sub> (39.26) and G<sub>13</sub> (39.30) for the nut and in clones G<sub>11</sub> (40.85) and G<sub>12</sub> (40.24) for the kernel (Table 3). When the chroma values of the clones were evaluated, the most vivid colors were recorded in clones G<sub>6</sub>–G<sub>13</sub> (7.22) for the nut and in clones G<sub>3</sub> (10.27) and G<sub>12</sub> (9.94) for the kernel. Therefore, it can be concluded that these clones are brighter in color. However, it should be noted that this color change is related to post-harvest applications, especially harvest season and drying method (Turan, 2018). Hazelnuts that are harvested early and exposed to precipitation during drying lose their brightness and become dull. Harvesting should be done

according to predefined criteria, and drying processes should be completely correctly and on time. On the contrary, because the selection studies are conducted in the farmer's garden, the harvesting process is tailored to the farmer. This resulted in an earlier harvest period. If these clones had been evaluated under controlled yield conditions, the possibility of overlooking the higher brightness values would have been reduced.

**Table 3.** Sensory analyzes and colour parameters of Mincane (cv) hazelnut clones

Parameters	Clone code									Sign
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	
<b>Sensory analyzes</b>										
Colour	2.33±0.58c	2.33±0.58c	2.00±0.00c	2.33±0.58c	3.33±0.58ab	2.33±0.58c	2.33±0.58c	2.33±0.58c	2.67±0.58bc	
Flavour	2.33±0.58de	1.67±0.58e	3.00±0.00cd	2.33±0.58de	4.00±0.00ab	4.67±0.58a	3.00±0.00cd	4.00±0.00ab	3.33±0.58bc	**
Hardness	4.00±0.58ab	3.67±0.58b	2.00±0.00c	4.33±0.58ab	4.33±0.58ab	4.67±0.58a	3.67±0.58b	4.33±0.58ab	3.67±0.58b	**
Rancidity	4.33±0.58ab	4.33±0.58ab	4.33±0.58ab	4.33±0.58ab	5.00±0.00a	4.67±0.58a	4.33±0.58ab	4.33±0.58ab	4.33±0.58ab	**
Foreign taste	2.00±0.00cd	1.67±0.58d	4.33±0.58a	2.33±0.58cd	5.00±0.00a	5.00±0.00a	4.67±0.58a	3.33±0.58b	4.33±0.58a	**
Overview	2.67±0.58cd	2.67±0.58cd	3.67±0.58ab	2.33±0.58d	3.67±0.58ab	4.33±0.58a	3.67±0.58ab	3.33±0.58bc	4.00±0.00ab	**
<b>Colour (Shell)</b>										
<i>L</i>	39.26±0.00c	39.40±0.00a	38.26±0.01n	39.36±0.01l	38.57±0.01i	38.75±0.01h	38.41±0.01k	38.55±0.01j	38.29±0.01m	**
<i>a</i>	5.23±0.00h	5.19±0.01i	5.55±0.01c	5.50±0.00d	5.41±0.02g	5.73±0.01a	5.60±0.01b	5.44±0.01f	4.83±0.01l	**
<i>b</i>	4.18±0.01g	4.33±0.00e	4.23±0.01f	4.42±0.01b	4.11±0.01h	4.40±0.01c	4.22±0.00f	4.00±0.01l	3.80±0.01m	**
Brownness index	20.68±0.02g	20.95±0.01f	21.95±0.02c	22.36±0.01b	21.17±0.04e	22.49±0.01a	21.94±0.03c	20.92±0.01f	19.34±0.01k	**
<i>x</i>	0.345±0.00g	0.346±0.00f	0.347±0.00c	0.348±0.00b	0.346±0.00e	0.348±0.00a	0.347±0.00c	0.346±0.00f	0.343±0.00k	**
Chroma value	6.70±0.00h	6.76±0.00g	6.98±0.01e	7.05±0.00b	6.79±0.01f	7.22±0.01a	7.01±0.01c	6.75±0.01g	6.14±0.01l	**
Hue value	0.97±0.00gh	0.91±0.00k	1.05±0.00c	0.97±0.00h	1.06±0.00c	1.04±0.00d	1.07±0.00b	1.11±0.01a	1.00±0.01ef	**
<b>Colour (Kernel)</b>										
<i>L</i>	38.01±0.03c	38.29±0.02c	39.81±0.01c	39.32±c	38.60±0.02c	48.68±0.03a	39.58±0.21c	38.97±0.03c	39.10±0.01c	*
<i>a</i>	9.44±0.02a	9.15±0.02b	9.48±0.01a	8.28±0.02f	9.06±0.03bc	8.84±0.04cd	9.12±0.02b	8.41±0.04f	8.78±0.03de	**
<i>b</i>	3.16±0.02j	3.25±0.01i	3.93±0.01c	3.55±0.07g	3.36±0.02h	4.54±0.03a	3.73±0.02e	3.15±0.02j	3.62±0.02f	**
Brownness index	23.86±3.84	25.56±0.05	27.06±0.05	24.66±0.03	25.51±0.09	22.80±2.84	26.03±0.21	23.53±0.09	25.43±0.04	ns
<i>x</i>	0.354±0.00ab	0.353±0.00abc	0.356±0.00a	0.345±0.01d	0.353±0.00abc	0.349±0.00cd	0.354±0.00ab	0.350±0.00bcd	0.353±0.00abc	*
Chroma value	9.96±0.02b	9.71±0.02cde	10.27±0.02a	9.01±0.04g	9.66±0.01de	9.94±0.03bc	9.85±0.05bcd	8.98±0.02g	9.50±0.02ef	**
Hue value	2.87±0.02a	2.70±0.00b	2.27±0.00ef	2.19±0.04g	2.57±0.01c	1.77±0.00i	2.30±0.01e	2.54±0.00c	2.29±0.02e	**

Data represent the mean ± SD (n=3). Significant level; \*, \*\*, \*\*\* and “ns” mean significance at  $p < 0.05$ , 0.01, 0.001 and “not significant”, respectively, among clones.

**Table 3 (continued)**

Parameters	Clone code					Sign
	G10	G11	G12	G13	G14	
<b>Sensory analyzes</b>						
Colour	3.33±0.58ab	2.33±0.58c	2.33±0.58c	2.33±0.58c	3.67±0.58a	*
Flavour	3.67±0.58bc	4.00±0.00ab	1.67±0.58e	3.00±0.00cd	3.33±0.58bc	***
Hardness	4.33±0.00ab	4.33±0.58ab	3.67±0.58b	4.33±0.58ab	2.67±0.58c	***
Rancidity	5.00±0.00a	4.33±0.58ab	3.67±0.58b	2.33±0.58c	4.33±0.58ab	***
Foreign taste	4.33±0.58a	2.67±0.58bc	2.33±0.58cd	1.67±0.58d	4.33±0.58a	***
Overview	3.67±0.58ab	3.33±0.58bc	2.33±0.58d	2.33±0.58d	4.00±0.00ab	***
<b>Shell</b>						
<i>L</i>	38.83±0.01f	38.87±0.00e	38.80±0.00g	39.30±0.01b	38.97±0.01d	***
<i>a</i>	4.89±0.01k	5.47±0.01e	5.13±0.01j	5.57±0.02c	5.19±0.01i	***
<i>b</i>	4.01±0.01k	4.36±0.00d	4.05±0.00j	4.60±0.00a	4.07±0.00i	***
Brownness index	19.80±0.01j	21.84±0.02d	20.36±0.01i	22.46±0.03a	20.44±0.01h	***
<i>x</i>	0.344±0.00j	0.347±0.00d	0.345±0.00i	0.348±0.00a	0.345±0.00h	***
Chroma value	6.33±0.00k	7.00±0.01d	6.54±0.00j	7.22±0.01a	6.59±0.01i	***
Hue value	0.93±0.01i	0.98±0.00g	0.99±0.00f	0.92±0.00j	1.00±0.00e	***
<b>Kernel</b>						
<i>L</i>	38.34±0.02c	40.85±0.03bc	40.24±0.04c	39.70±0.00c	39.03±0.01c	*
<i>a</i>	9.09±0.02bc	8.52±0.58ef	9.02±0.02bcd	8.91±0.02bcd	9.01±0.01bcd	***
<i>b</i>	3.17±0.02j	3.75±0.04e	4.19±0.01b	3.81±0.02d	3.55±0.01g	***
Brownness index	25.19±0.10	24.26±0.97	26.70±0.04	25.81±0.07	25.66±0.02	ns
<i>x</i>	0.353±0.00abc	0.352±0.00abc	0.355±0.00a	0.354±0.00ab	0.354±0.00ab	*
Chroma value	9.63±0.03de	9.31±0.53f	9.94±0.01bc	9.69±0.02de	9.68±0.01de	***

Data represent the mean ± SD (n=3). Significant level; \*, \*\*, \*\*\* and “ns” mean significance at  $p < 0.05$ , 0.01, 0.001 and “not significant”, respectively, among clones.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The study is the first selection study in the literature to investigate the physical traits of the Mincane cv in detail. It is also the first academic study of hazelnuts in this region. The study found a statistically significant difference among clones ( $P < 0.001$ ). There were significant differences in traits among clones, including yield in G<sub>1</sub> (519.56 g/plant), efficiency in G<sub>6</sub> (58.81%), shell thickness in G<sub>11</sub> (0.91 mm), low piccola hazelnut ratio in G<sub>4</sub>–G<sub>11</sub> (1.59%), high good and low defective kernel ratio in G<sub>4</sub> (85.35%), and high BA in G<sub>11</sub> (99.37%) clones. As a result of this study, indicated that G<sub>1</sub>, G<sub>6</sub>, G<sub>4</sub>, and G<sub>11</sub> clones are promising for hazelnut production.

#### Acknowledgements

The author wishes to thank Assoc. Prof. Fatih ÖNER for the statistical analysis.

#### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Alasalvar, C., Amaral, J. S., & Shahidi, F., (2006). "Functional lipid characteristics of Turkish tumbul hazelnut (*Corylus avellana* L.)," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10177–10183.
- Alibas, I., Zia, M. P., Yilmaz, A., & Asik, B. B., (2020). Drying kinetics and quality characteristics of green apple peel (*Mallus communis* L. var. "Granny Smith") used in herbal tea production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(2), e14332. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14332>
- Cansev, A., Tüccar, M., & Turhan, Ş., (2018). Sakarya İli Kocaali İlçesi'nde faaliyette bulunan fındık işletmelerinin mevcut yapısı ve sorunları. *Bahçe*, 47(2), 23–31.
- Çetin, N., Yaman, M., Karaman, K., & Demir, B., (2020). Determination of some physicochemical and biochemical parameters of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Turk J Agric For*, 44, 439-450. doi:10.3906/tar-1905-115
- Demir, B., (2018). Application of data mining and adaptive neuro-fuzzy structure to predict color parameters of walnuts (*Juglans regia* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(3), 216-225. doi:10.3906/tar-1801-78
- Dönmez, İ. E., Selçuk, S., Sargın, S., & Özdeveci, H., (2016). Kestane, fındık ve antepfıstığı meyve kabuklarının kimyasal yapısı. *Turkish Journal of Forestry*, 17(2), 174- 177.
- Ercisli S, Öztürk I, Kara M, Kalkan F, Seker H, Duyar O, Ertürk Y., 2011. Physical properties of hazelnuts. *International Agrophysics*, 25, 115-121.
- Ertürk, Y. E., Geçer, M. K., Gülsoy, E., & Yalçın, S., (2015). Antepfıstığı üretimi ve pazarlaması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 43-62.
- Fan, L., Ren, J., Yang, Y., & Zhang, L., (2020). Comparative analysis on essential nutrient compositions of 23 wild Hazelnuts (*Corylus heterophylla*) grown in Northeast China. *Journal Of Food Quality*, 2020, 1-9.
- Fiskobirlik, (2004). *Fındık alım-ekspertiz ve saklama yönetmeliği*. Fiskobirlik Basımevi, Giresun.
- Ghisoni, S., Lucini, L., Rocchetti, G., Chiodelli, G., Farinelli, D., Tombesi, S., & Trevisan, M., (2020). Untargeted metabolomics with multivariate analysis to discriminate hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars and their geographical origin. *J Sci Food Agric*, 100, 500–508.
- Göğüs, A., (2015). *Tirebolu Karakaya vadisinde Tombul fındık klon seleksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- GTHB, (2017). *Fındık entegre mücadele teknik talimatı*. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara.
- Hosseinpour, A., Seifi, E., Javadi, D., Ramezanpour, S. S., & Molnar, T. J., (2013). Nut and kernel characteristics of twelve hazelnut cultivars grown in Iran. *Sci Hortic*, 150, 410–413.
- İslam, A., (2000). *Ordu ilinde yetişen Türk fındık çeşitlerinde klon seleksiyonu*, Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- İslam, A., (2019). Fındık ıslahında gelişmeler. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8, 167-174.
- İslam, A., & Çayan, M., (2019). Ordu ili Gürgentepe ilçesinde yetiştirilen Çakıldak fındık çeşidinde klon seleksiyonu. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8, 1-8.
- İşbakan, H., & Bostan S. Z., 2020. Fındıkta bitki morfolojik özellikleri ile verim ve meyve kalite özellikleri arasındaki ilişkiler. *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg*, 10 (1), 32-45.
- Kan, E., (2019). *Trabzon'un bazı ilçelerinde yetiştirilen Trabzon sivrisi fındık popülasyonunda klon seleksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Kalkışım, Ö., Turan, A., Okcu, Z., & Özdes, D., (2016). Evaluation of the effect of different harvest time on the fruit quality of Foşa nut. *Erwerbs Obstbau*, 5, 89–92.
- Köksal, A. İ., (2018). *Türk fındık çeşit kataloğu*. Fındık Tanıtım Grubu, Ankara.
- Krol, K., & Gantner, M., (2020). Morphological traits and chemical composition of hazelnut from different geographical origins: A review. *Agriculture*, 10, 375.
- Matthaus, B., & Özcan, M. M., (2012). The comparison of properties of the oil and kernels of various hazelnuts from Germany and Turkey. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(7), 801–806.
- Mehlenbacher, S. A., Smith, D. C., K. & Brenner, L., (1993). Variance components and heritability of nut and kernel defects in hazelnut. *Plant Breeding* 110, 144-152
- Nishio, S., Yamada, M., Takada, N., Kato, H., Onoue, N., Sawamura, Y., Saito, T., (2014). Environmental variance and broad-sense heritability of nut traits in japanese chestnut breeding. *Hortscience*, 49(6), 696-700.
- Özçağiran, R., Ünal, A., Özeker, E., İsfendiyaroğlu, & M., (2005). *Ilıman İklim Meyve Türleri, Sert Kabuklu Meyveler Cilt-III*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 566, İzmir.



- Öztürk, A., & Serttaş, S., (2018). Current situation and potential of fruit growing in the Black Sea Region. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(4), 11-20.
- Pekdemir, E., (2019). *Piraziz (Giresun) İlçesi Tombul fındık populasyonunun verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Saruhan, İ., & Tuncer, C., (2010). Research on damage rate and type of green shield bug (*Palomena prasina* L. Heteroptera: Pentatomidae) on hazelnut. *J. Agric. Sci.* 25, 75-83.
- Saruhan, I., Tuncer, C., & Akca, I., (2010). Development of Green Shield Bug (*Palomena Prasina* L., Heteroptera: Pentatomidae) In Different Temperatures. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(1), 55-60.
- Saruhan, İ., & Şen, M., (2016). Emici böcekler (Hemiptera: Pentatomidae, Coreidae ve Acanthosomatidae)“in farklı fındık (*Corylus avellana* L.) çeşitlerindeki lekeli iç zararının belirlenmesi. *Anadolu J Agr Sci*, 31, 337-344.
- Shafie, G., Ghorbani, M., Hosseini, H., Mahoonak, A. S., Maghsoudlou, Y. S. M., (2020). Estimation of oxidative indices in the raw and roasted hazelnuts by accelerated shelf-life testing. *Food Sci Technol*, 57, 2433- 2442.
- Şahin, N., (2019). *Giresun ili merkez ilçede yetiştirilen sivri fındık çeşidinde klon seleksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Şimşek, A., (2004). *Değişik kavurma proseslerinin bazı fındık çeşitlerinde oluşturduğu biyokimyasal değişiklikler*, Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Turan, A., (2007). *Giresun ili Bulancak ilçesi Tombul fındık klon seleksiyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Turan, A., & Beyhan, N., (2009). Investigation of the pomological characteristics of selected Tombul hazelnut clones in the Bulancak area of Giresun province. *Seventh International Congress on Hazelnut, Book of Proceeding* (61–66), 23–27 June, Viterbo, Italy.
- Turan, A., (2017). *Fındıkta kurutma yöntemlerinin meyve kalitesi ve muhafazası üzerine etkileri*. Doktora Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.
- Turan, A., (2018). Effect of drying methods on fatty acid profile and oil oxidation of hazelnut oil during storage. *European Food Research and Technology*, 12, 2181–2190.
- Turan, A., ve İslam, A., (2019). Tombul fındık çeşidinde yağ oksidasyonunu azaltacak kurutma yönteminin belirlenmesi. *GIDA*, 44 (4), 563-575.
- Turan, A., (2019). Effect of drying on the chemical composition of Çakıldak (cv) hazelnuts during storage. *Grasas y Aceites*, 70(1): e296.
- Turan, A., & İslam, A., (2020). Hazelnut Cultivation. A. İslam (Ed.), *Ecological requirement of hazelnut*, (pp. 26-30), Fatsa, Ordu, Yeşiller Grafik tasarım, Reklam ve Matbaacılık.
- Turan, A., (2021). Effect of the damages caused by the green shield bug (*Palomena prasina* L.) on the qualitative traits of hazelnuts. *Grasas Aceites* 72 (1), e391.
- Yao, Q., & Mehlenbacher, S. A., (2000). Heritability, variance components and correlation of morphological and phenological traits in hazelnut. *Plant Breeding*, 119, 369-381.
- Yılmaz, M., Karakaya, O., Balta, M. F., Balta, F., ve Yaman İ., (2019). Çakıldak fındık çeşidinde iç meyve iriliğine bağlı olarak biyokimyasal özelliklerin değişimi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8, 61-70.
- Xu, Y. X., & Hanna, M. A., (2010). Evaluation of Nebraska hybrid hazelnuts: Nut/kernel characteristics, kernel proximate composition, and oil and protein properties. *Industrial Crops and Products*, 31, 84-91.

## Generating a Matlab Code with Parameter Optimization in Gearbox

Faruk GUNER<sup>1\*</sup>, Musa DEMİR<sup>2</sup>

### Abstract

One of the most important engineering problems today is the optimization of systems and process parameters. Optimization is one of the longest and most costly steps to conclude for many multidisciplinary studies. Numerical analysis has been a widely applied approach to reduce this cost of time and money. In this study, first of all, a gearbox with geometric dimensions is modeled using Matlab commercial package software. The created model was then subjected to finite element analysis via student version of Ansys commercial package. The strength of the system was examined over the stress and deformation values obtained in those analysis. Considering the equivalent von Mises stress values obtained in the study, a maximum 200 MPa design on the gear wheels and a two-fold safe design according to the yield limit was revealed. In addition, a Matlab software that reveals the welding path for the reducer outer sleeve and jib crane has also been produced in this study..

**Keywords:** Matlab, Finite Element, Optimization, Welding Path..

## Dişli Kutusu Tasarımında Parametre Optimizasyonu İçeren Bir Matlab Kodunun Oluşturulması

### Öz

Günümüz mühendislik problemlerinden önemli bir tanesi de sistemlerin optimize edilmesidir. Optimizasyon, birçok multi disiplinler çalışma için sonuçlandırılması en uzun ve en maliyetli adımlardan biridir. Bu maliyetin azaltılması amacıyla numerik yöntemlerden faydalanmakta yaygın uygulanan bir yaklaşım olmuştur. Bu çalışmada öncelikle Matlab ticari paket programı kullanılarak geometrik boyutları ortaya koyulan bir redüktör modellenmiştir. Oluşturulan model daha sonra sonlu elemanlar analizlerine tabi tutulmuştur. Analizlerde elde edilen gerilme ve deformasyonlar değerleri üzerinden sistemin mukavemeti incelenmiştir. Çalışmada elde edilen eşdeğer von Mises gerilme değerlerine bakıldığında dişli çarklar üzerinde maksimum 200 MPa düzeyinde ve akma sınırına göre iki kat emniyetli tasarım ortaya konulmuştur.

Ayrıca çalışmada redüktör dış kovanı ve pergel vinç için kaynak yolu ortaya koyan bir Matlab yazılımı da üretilmiştir.  
**Anahtar Kelimeler:** Matlab, Sonlu Elemanlar, Optimizasyon, Kaynak Yolu.

<sup>1</sup> Giresun University, Mechanical Engineering and Faculty of Engineering, Giresun, Turkey, faruk.guner@giresun.edu.tr

<sup>2</sup> Giresun University, Mechanical Engineering and Faculty of Engineering, Giresun, Turkey, musa.demir@giresun.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-3438-0553> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2191-5395>

## 1. Introduction

Today, an important problem of engineering studies is the optimization of process parameters. Optimization is a multidisciplinary field of study not only in an engineering branch but also in many fields (Güner, 2020; Zenk et al., 2019). Optimization studies, especially on environmental and energy issues, gain an important place in the literature (Coruhlu et al., 2020; Dmitry et al., 2020; Zenk, 2020). With the simplest approach, the effects of efficiency improvement efforts applied in the production and use stages of energy on the environment are examined by scientists in our world where global warming and pandemic are experienced (Baser and Biyik, 2018; Güner et al., 2021).

When the event is viewed only from the perspective of mechanical engineering, increasing electronic support and widespread use of robotics increase the importance of system optimizations (Zenk and Akpınar, 2014). While some of the approaches applied for system optimization are actively involved in our lives, most of them are the planning steps that remain in the background (Rodionov et al., 2020).

On the other hand, many classical equipment in the existing machine design track are being optimized and put into the service of humanity more effectively (Sadeler and Atasoy, 2011; Savaşkan et al., 2015). A certain know-how infrastructure is needed in the optimization studies. This infrastructure can mostly consist of observations and collected data spread over the past years, or it can be a self-learning based artificial intelligence product (Sadeler and Atasoy, 2016; Tan and Savaşkan, 2020). The endpoint in optimization studies are artificial intelligence-based self-developing systems (Yıldırım et al., 2021/6/21).

There are multiple approaches to optimization in engineering disciplines (Baser, 2020). The finite element method is an important example of these approaches (Güner and Güney, 2018). The method can be used successfully in many engineering disciplines. Finite element method is used not only before production but also after production or when experimental studies are costly (Büyükkaya and Güner, 2020; Güner and Sofuoğlu, 2018). Fuzzy logic analysis systems are successful in solving problems involving deterministic chaos. One of the important advantages of the method is that it allows the system components to be optimized (Zenk et al., 2018).

Another heavily used method is Matlab applications. It is possible to optimize production with software codes made in different versions of the Matlab commercial package program (Eremochkin and Dorokhov, 2021). In design applications where, multiple independent parameters are involved, such applications provide an advantage to the manufacturer (Mezaache et al., 2022).

Gearboxes have gained an important place in a wide range of industries, including heavy industrial wastes such as automotive and steel shredders or factories those have smaller productions like elevators, mini robots, cranes, consumer automation systems etc. One of the studies that will

provide an advantage to the manufacturer is that Kurt C., who has calculated and designed a special gearbox originally (Kurt C., 2011).

In another work, a new eigenvalue problem solver for Thermo-mechanics with MATLAB Program is the non-local finite element method of innovative vibration of Timoshenko nano-beams (Numanoğlu et al., 2022).

Optimization has an effect on the correct selection of the welding direction and direction, especially in welding metals with different alloys (Dourado da Silva et al., 2022; Rodionov et al., 2020). Besides the necessity of using different alloys of the same metal together, the need for welding different metals is an important problem. After the model is created in a newly designed system, optimizing the body parameters and coding the robotic software suitable for this design are modern applications in the field of industrial engineering (Geng et al., 2022). In this sense, the production efficiency is increased with the software codes that can be produced in the Matlab commercial package program.

Control systems based on this type of artificial intelligence techniques provide an increase in the processing quality of equipment such as welding. For example, a particle swarm optimization algorithm is discussed to examine the width of the head affected zone in gas metal and arc welding processes. A source code in Matlab 8.3 was used in the research made on welding speed, welding voltage, nozzle-plate distance, wire feed speed (Dourado da Silva et al., 2022).

As a requirement of global competition, the efficiency of technical equipment is constantly being improved. Matlab Simulink applications also show beneficial results in the solutions of the new products developed, especially in the field of electricity and electronics. Developed models are simulated on this program and optimized. In another study, which was submitted by Simulink/Matlab, includes a hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) sunlight thermodynamic image following a modular strategy approach (R.M. da Silva et. Al., 2010). In another study by Abdullah (YEAR), thermodynamic modeling of the thermal and electrical performance of a hybrid PVT water collector was performed as the basis for the design of a new absorber (double oscillation absorber).[] Hybrid PVT was studied with normal PV technology (without cooling system) through simulation simulation of model based on theoretical data using MATLAB.

In this study, a Matlab code that can be used to calculate and optimize the geometric dimensions needed in the design of a simple gearbox is produced. Stress analyzes of the designed prototype are also given in the study.

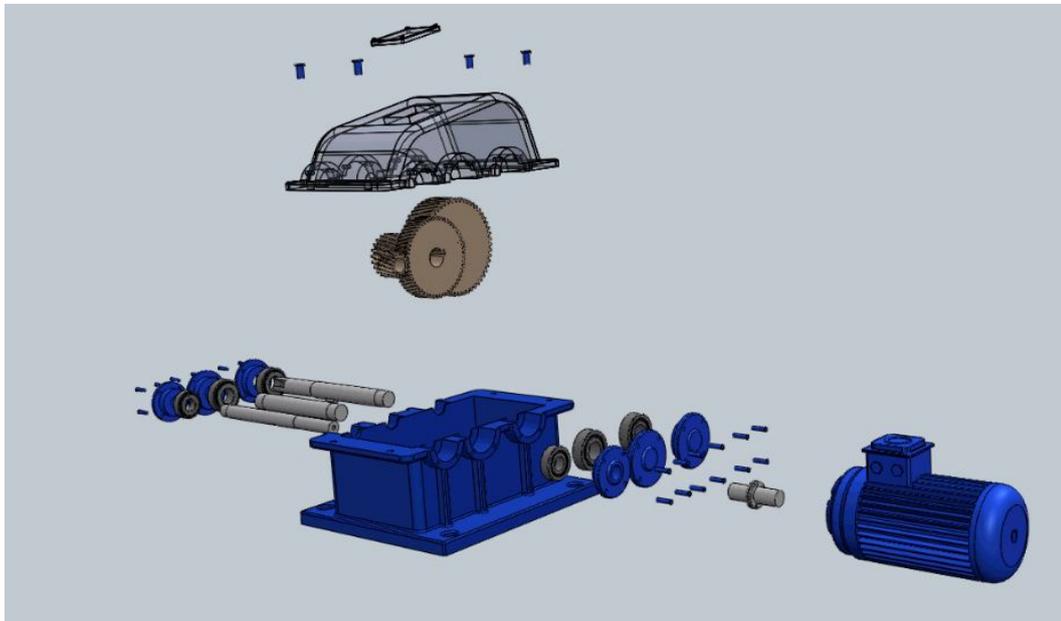
## 2. Materials and Methods

The reducer is described as an industrial gear system. Machines used in all production branches from automotive to ceramics, food, and cosmetics contain reducers. Its job inside the machine is to decrease the speed and increase the momentum. In other words, it is to be able to adjust the power of the machine according to the production.

In the study, first of all, a Matlab code was created to make the necessary calculations for a gearbox design. After this code, the stresses that the gearbox shafts are exposed to were obtained by finite element analysis. According to the results obtained, the optimized dimensions of the reducer were changed. Since different shafts are subjected to different strain patterns, optimizations in the design are carried out similarly. The generated Matlab code is given in Appendix-1.

In the second step, it is aimed to write a Matlab code to be used in the welding process of a developed jib crane. The jib crane source Matlab code given in Appendix -2 explains the prototype production of the system so that it needs minimum optimization. Successful results were obtained from the analyzes made as a result of the modeling of the system.

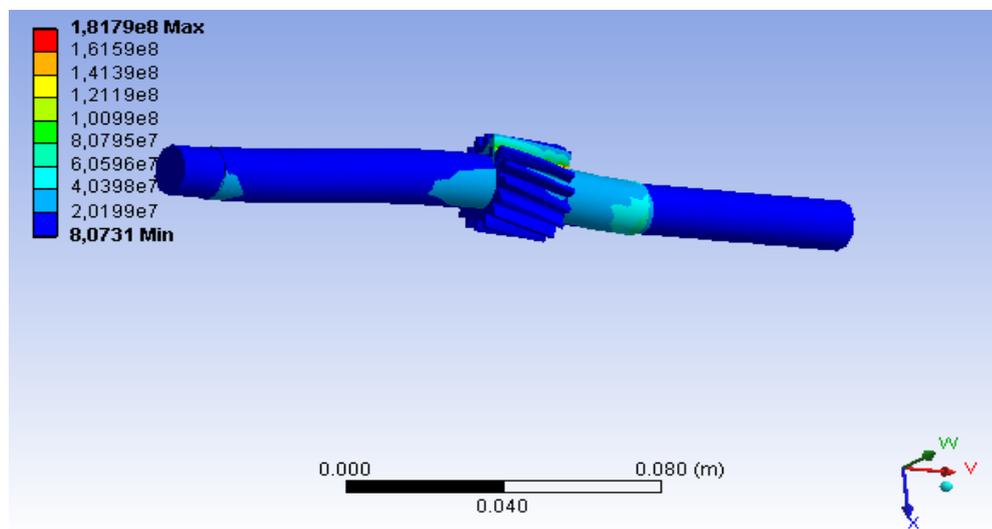
It is aimed to minimize the cyclical work in writing the codes, thus minimizing the different needs of the system. Finite element analyzes were performed with the Ansys Student version. The solid model of the designed gearbox is given in Figure 1 as an exploded view.



**Figure 1.** Exploded image of the created reducer solid model.

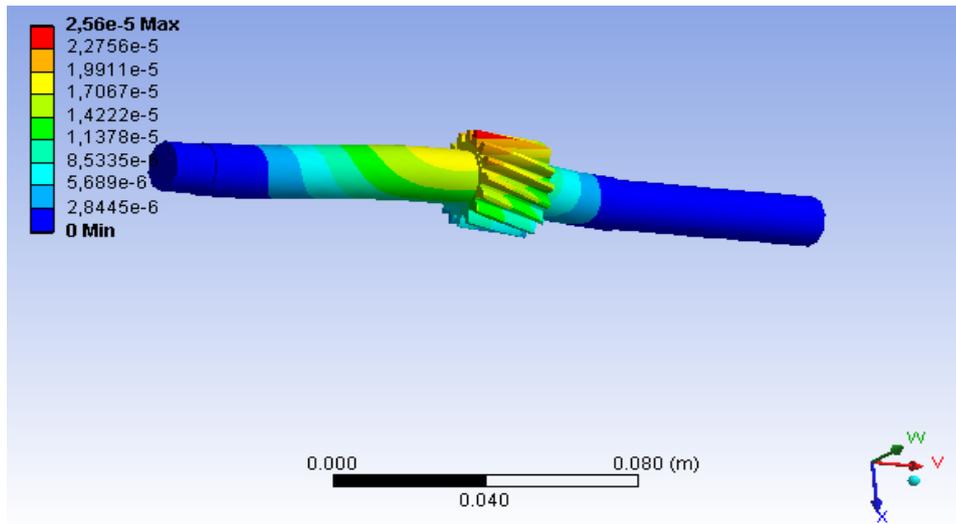
### 3. Findings and Discussion

Within the framework of the study, first of all, a gearbox production and stress analysis, followed by a Matlab code to be used in the welding processes of a jib crane was produced. The solid model produced using the generated code was subjected to finite element analysis in Ansys commercial package program. In the analysis, the three shafts of the reducer were examined in terms of stress and strain. The screenshot of the finite element analysis of the first shaft is given in Figure 2. Figure 2 Equivalent von Mises stress distribution on 1st shaft can be seen in Figure 2. It is seen that the largest equivalent von Mises stress on the pinion gear on the shaft is 81MPa. This value is the value on which the yield stress will be taken as a basis in the fracture hypotheses to be applied, whose shaft material is selected.



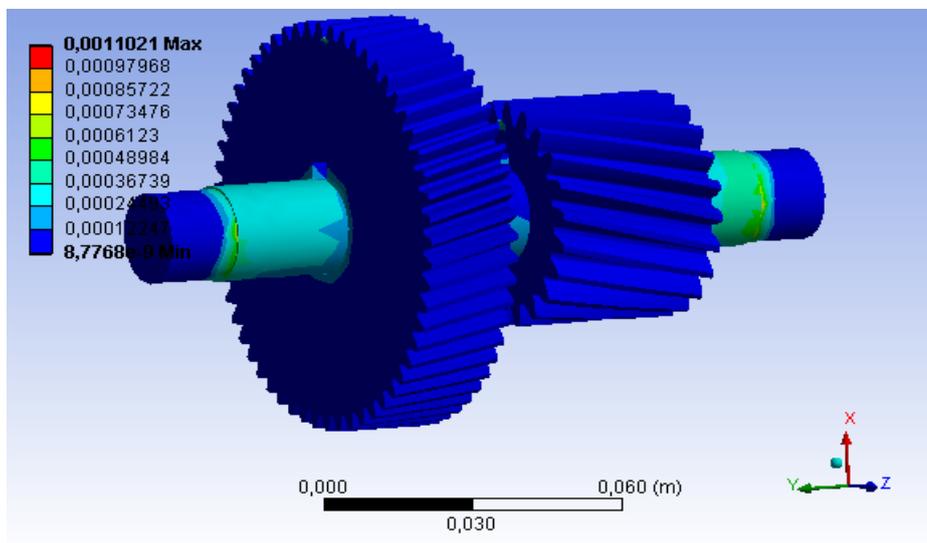
**Figure 2.** Equivalent von Mises stress distribution of 1<sup>st</sup> shaft.

In figure 3, total deformation of 1st shaft can be seen. Only in a small pile of the gear teeth exposed to excessive deformation. It is calculated that  $2.56 \times 10^{-5}$  m deformation was occurred on the gear teeth as the highest value on the 1st shaft. The minimum deformation was occurred as  $2.8 \times 10^{-6}$  m on the bear supports of the shaft.



**Figure 3.** Total deformation of the 1<sup>st</sup> shaft.

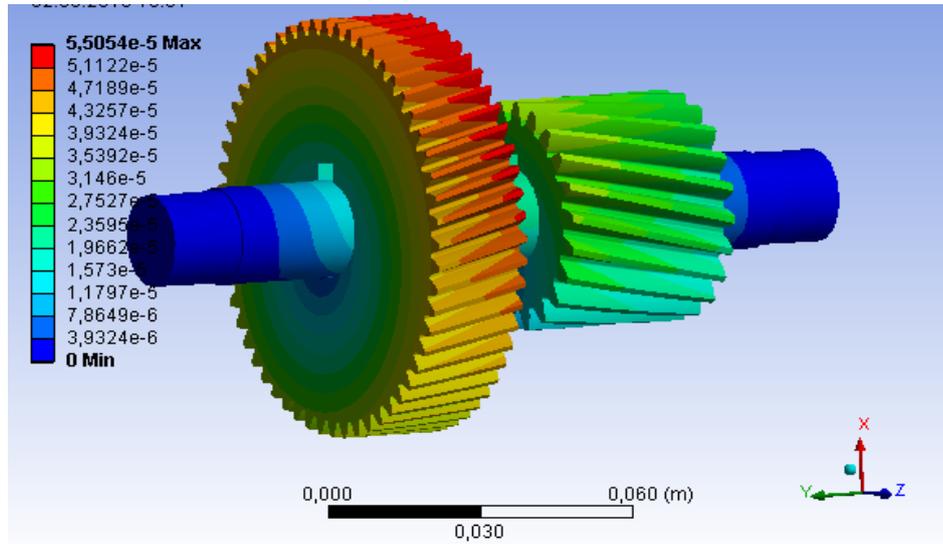
Second shaft is the main part of the reducer. It is the host of two gear, one of them was in touch with first shaft and the other is in touch with the third shaft. The gear tooth were designed counter slope in order to minimize the shear force. this design balanced the shear force with the counter slope of the gears. Because of this reason the excessive equivalent elastic strain was occurred between the gears and the bearer supports of the second shaft. The maximum equivalent elastic strain was calculated lower than  $5e-5$  which still keeps the shaft in elastic deformation region of stress- strain curve.



**Figure 4.** Equivalent elastic strain of second shaft.

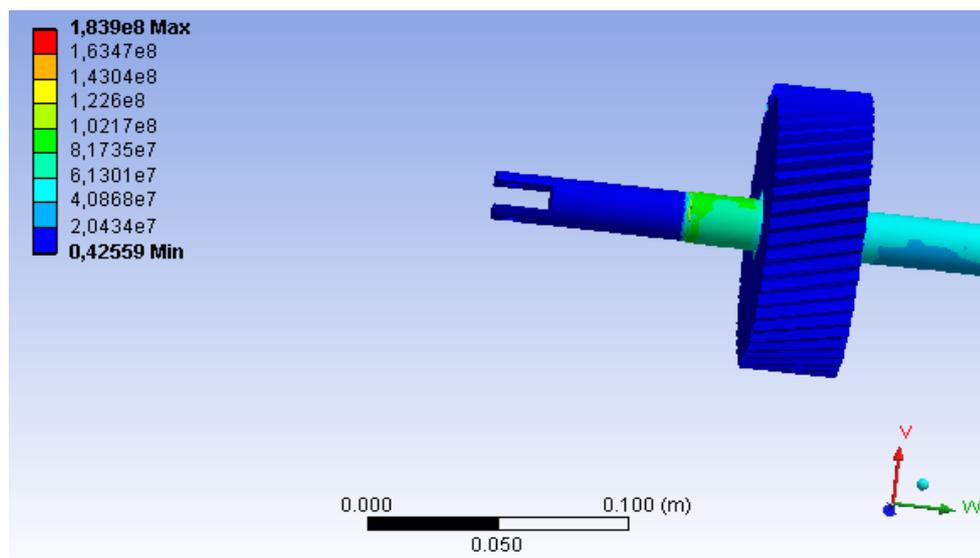
The total deformation of the second shaft can be seen in Figure 5. The excessive deformation occurs on the upper part the gear which was in touch with the first shaft. This gear is the biggest gear of the reducer in diameter. Enlarging the diameter causes moment increase in the tooth of the gear.

The biggest gear exposed almost twice deformation of the other gear. The maximum total deformation was calculated as  $5.5e-5$ m on the tooth of the gear.



**Figure 5.** Total deformation of the second shaft.

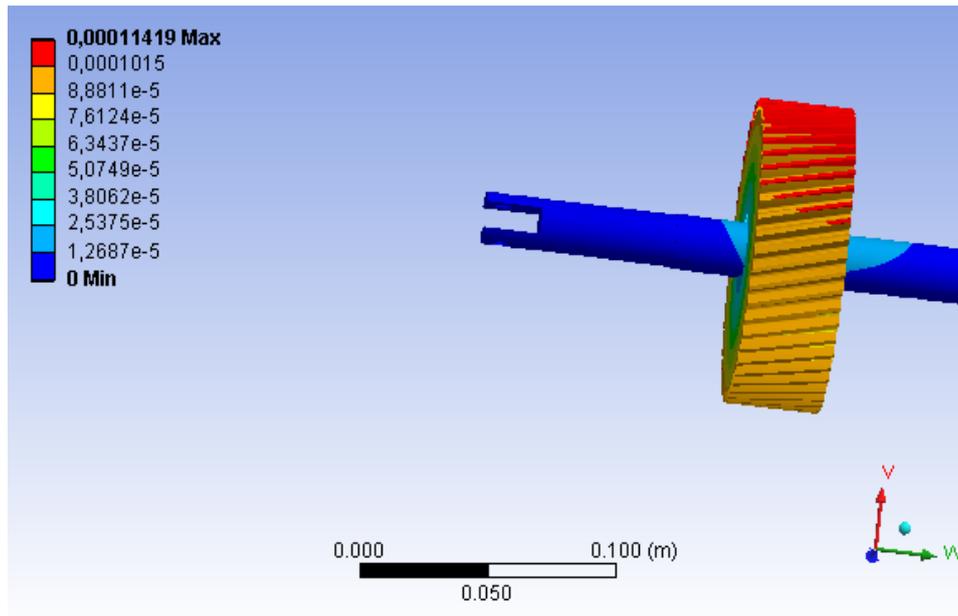
Figure 6 shows Equivalent stress distribution of the third shaft. This shaft is also called the output shaft. This shaft has the highest torque and the lowest ratio in the reducer. Due to the highest torque the shaft is exposed to shear stress. The tooth of the gear shows less normal stress. The maximum equivalent von Mises on this shaft is calculated as 71MPa. This value is similar to the first shaft which is the input shaft of the system. The optimization process worked successfully so that the output and input shaft exposed to similar stress values.



**Figure 6.** Equivalent Stress distribution of the third shaft.



Similar to the second shaft the highest deformation occurred in the gear tooth. The surface pressure and torsion arise the total deformation. This deformation reaches 0.0001m which the top deformation value obtained in the analyses. The screen shot of the third shaft is given in Figure 7 where the total deformation distribution was also plotted. This shaft is the output shaft of the reducer so that the highest torsion reveals out. This torsion is the main reason for the excessive total deformation.



**Figure 7.** Total deformation on the output shaft of the reducer.

The results of as well as the findings obtained from the research in question are provided in this section. Here, one can compare and contrast the obtained findings with other relevant academic/scientific literature.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, two MATLAB codes were constructed. First code aims to optimize modelling process of a reducer. The second code aims to optimize welding process of a jib crane. First of all, the necessary 3D models for the creation of these codes were put forward. Numerical studies were carried out using the codes created on these models. The geometries obtained in the studies were subjected to stress analysis via finite element method. In the analyzes, it was observed that the maximum equivalent von Mises stress values were at the level of 200 MPa, while the amount of total strain remained at the values of 5e-5.

As another result of the study, a great advantage was achieved in high design costs. Many calculation and control steps are minimized with the advantages of numerical analysis. Thanks to the finite element analysis, which is one of the two methods introduced in the study, the stresses that will occur on the model are obtained and the know-how is provided to the pre-production process. Decreasing the risk of unsafe production has been demonstrated at very low costs.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- Abdullah, A. L., Misha, S., Tamaldin, N., Rosli, M. A. M., & Sachit, F. A. (2019). Hybrid photovoltaic thermal PVT solar systems simulation via Simulink/Matlab. *CFD letters*, 11(4), 64-78.
- Baser, V. (2020). Effectiveness of School Site Decisions on Land Use Policy in the Planning Process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11). doi:10.3390/ijgi9110662
- Baser, V., & Biyik, C. (2018). Coastal and marine zone legislation within the concept of land management in Turkey. *Survey Review*, 51(369), 502-513. doi:10.1080/00396265.2018.1482854
- Büyükkaya, K., & Güner, F. (2020). Determination of Static Fracture Toughness of Nettle Fibre (*Urtica Dioica*)/Polymethyl-methacrylate Composites Using Different Fracture Methods. *Mechanics*, 26(2), 95-102. doi:10.5755/j01.mech.26.2.23308
- Coruhlu, Y. E., Baser, V., & Yildiz, O. (2020). Object-based geographical data model for determination of the cemetery sites using SWOT and AHP integration. *Survey Review*, 53(377), 108-121. doi:10.1080/00396265.2020.1747843
- Da Silva, R. M., & Fernandes, J. L. M. (2010). Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab. *Solar energy*, 84(12), 1985-1996. doi.org/10.1016/j.solener.2010.10.004
- Dmitry, R., Alexander, L., & Valery, P. (2020). Development of Mechanisms for Automatic Correction of Industrial Complex Tools in the Preprocessing of Laser Welding for Small-Scale and Piece Production Using Computer Vision. *Machines*, 8(4). doi:10.3390/machines8040086
- Dourado da Silva, R. G., Magalhães, E. d. S., & Lima e Silva, S. M. M. (2022). Estimating the Absorption Efficiency in a Laser Welding Process Using a Nonlinear Inverse Problem Method. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.4036411
- Eremochkin, S. Y., & Dorokhov, D. V. (2021, 19-21 Nov. 2021). Characteristics Research of the Semiconductor Frequency Converter in Matlab Simulink. Paper presented at the 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE).
- Geng, Y., Zhang, Y., Tian, X., Shi, X., Wang, X., & Cui, Y. (2022). A novel welding path planning method based on point cloud for robotic welding of impeller blades. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(11-12), 8025-8038. doi:10.1007/s00170-021-08573-3
- Güner, F. (2020). Numerical Investigation of AISI 4140 Powder High Relative Density Compaction In Terms of Compaction Velocity. *Mechanics*, 26(1), 5-11. doi:10.5755/j01.mech.26.1.22862

- Güner, F., Başer, V., & Zenk, H. (2021). Evaluation of offshore wind power plant sustainability: a case study of Sinop/Gerze, Turkey. *International Journal of Global Warming*, 23(4). doi:10.1504/ijgw.2021.114342
- Güner, F., & Güney, M. Ş. (2018). Situation analyses of hazelnut sector, the necessity and classification of harvesting machines. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(9). doi:10.24925/turjaf.v6i9.1141-1147.1926
- Güner, F., & Sofuoğlu, H. (2018). Effects of Process Parameters on Copper Powder Compaction Process Using Multi-Particle Finite Element Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 295. doi:10.1088/1757-899x/295/1/012027
- Mezaache, M., Babes, B., & Chaouch, S. (2022). Optimization of Welding Input Parameters Using PSO Technique for Minimizing HAZ Width in GMAW. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 66(2), 99-108. doi:10.3311/PPme.14127
- Numanoğlu, HM., Ersoy, H., Akgöz, B., & Civalek, Ö. (2022). A new eigenvalue problem solver for thermo-mechanical vibration of Timoshenko nanobeams by an innovative nonlocal finite element method. *Math Meth Appl Sci*, 45:2592-2614. doi:10.1002/mma.7942
- Rodionov, D., Lyukhter, A., & Prokoshev, V. (2020, 18-22 May 2020). Methods of Automatic Correction of Technological Trajectory of Laser Welding Complex by Means of Computer Vision. Paper presented at the 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
- Sadeler, R., & Atasoy, S. (2011). Fretting fatigue behaviour of hard anodizing coated 2014-T6 aluminium alloy with dissimilar mating materials under plane bending loading. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 34(6), 383-388. doi:10.1111/j.1460-2695.2010.01527.x
- Sadeler, R., & Atasoy, S. (2016). The effect of contact pad hardness on the fretting fatigue behaviour of AZ61 magnesium alloy. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 39(4), 502-510. doi:10.1111/ffe.12387
- Savaşkan, T., Tan, H. O., & Maleki, R. A. (2015). Effects of contact pressure and sliding distance on the lubricated friction and wear properties of Zn-25Al-3Cu alloy: A comparative study with SAE 65 bronze. *International Journal of Materials Research*, 106(10), 1060-1066. doi:10.3139/146.111282
- Tan, H. O., & Savaşkan, T. (2020). Determination of Dry Wear Properties of Zn-30Al-Cu Bearing Alloys in Terms of Their Copper Content and Working Conditions Including Pressure and Sliding Velocity. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(7), 4794-4803. doi:10.1007/s11665-020-04976-7
- Yıldırım, V., Atasoy, B. A., & Başer, V. (2021/6/21). Determining Most Suitable Areas for Logistics Centers by Using GIS and S-MCDM. Paper presented at the FIG e-Working Week.
- Zenk, H. (2020). Fotovoltaik Enerji Kaynaklı İkili Yapılı Flyback Dönüştürücünün Fuzzy-Tuned PI ve Fractional PID Tipi Denetleyicilerle Gerilim Kararlılığının Karşılaştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 443-465. doi:10.31466/kfbd.819578
- Zenk, H., & Akpınar, A. S. (2014). Dynamic Performance Comparison of Cúk Converter with DC Motor Driving and Using PI, PID, Fuzzy Logic Types Controllers. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 2(2), 90-96. doi:10.13189/ujeee.2014.020206
- Zenk, H., Kara, A., Güney, M. S., Güner, F., & Zenk, O. (2018). PMDC Motor Speed Control With Fuzzy Logic Controlled Zeta Converter. Paper presented at the 4rd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2018), Kiev, Ukraina.
- Zenk, H., Şenol, H., & GÜNER, F. (2019). Lunar Excursion Module Landing Control System Design with P, PI and PID Controllers. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 390-405. doi:10.31466/kfbd.647211

### Theses and Dissertations:

- Numanoğlu HM., (2019). Nano ölçekli sürekli ve ayrik sistemlerin yerel olmayan sonlu elemanlar formülasyonu (nl-fem) ile dinamik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya
- Kurt, C., (2011). Özel redüktör tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

## Comparison of the Rheological Behavior of Iso- and Syndiotactic Polypropylenes

Fatma SAHİN-DİNÇ<sup>1\*</sup>

### Abstract

The rheological behavior of iso- and syndiotactic polypropylenes (iPP and sPP) for two different temperatures of 175 and 190°C at atmospheric pressure is analyzed employing the Yahşi-Dinç-Tav (YDT) non-Newtonian viscosity model. The predicted viscosity with shear rates of 0.093 to 93.91 s<sup>-1</sup> on PPs is compared with the corresponding estimations from the Cross-like model. The obtained results from the YDT model deviate from the reported experimental observations with 1.041% for iPP and 1.86% for sPP. From the zero shear viscosity correlation to temperature- and vacancy fraction-dependent thermo-occupancy function,  $Y_h = Y_h(h, T)$ , viscosity parameters were ascertained and associated with polymer tacticity. From the zero shear viscosity relation, an increase in  $Y_h = Y_h(h, T)$  function and hole fraction loss results in increased viscosity. The dependence of the derivative of logarithm of viscosity (viscohilibility) on vacancy fraction, as a function of pressure and temperature,  $h=h(P, T)$ , procured from Simha-Somcynsky hole theory displays an exponentially decreasing behavior.

**Keywords:** Isotactic and syndiotactic polypropylenes, vacancy fraction, steric hindrance, viscohilibility, Simha-Somcynsky, tacticity.

## İzo- ve Sindiyotaktik Polipropilenlerin Reolojik Davranışının Karşılaştırılması

### Öz

Newtonyen olmayan Yahşi-Dinç-Tav (YDT) viskozite modeli kullanılarak, izotaktik ve sindiyotaktik polipropilenlerin (iPP ve sPP) atmosfer basıncında 175 ve 190°C'lik iki farklı sıcaklık için reolojik davranışı analiz edilmiştir. PP'ler üzerinde 0.093 ila 93.91 s<sup>-1</sup> kayma gerinimleri ile tahmin edilen kayma viskozitesi, Cross-benzeri modelden karşılık gelen tahminlerle karşılaştırılır. YDT modelinden elde edilen sonuçlar, iPP için %1.041 ve sPP için %1.86 ile, bildirilen deneysel gözlemlerden sapmaktadır. Sıcaklık ve boşluk kesri ile ilişkili ısı-doluluk fonksiyonu,  $Y_h = Y_h(h, T)$ , ile sıfır kayma viskozite ilişkisinden, viskozite parametreleri belirlendi ve bu parametreler polimer taktisitesi ile ilişkilendirildi. Sıfır kayma viskozite ilişkisinden,  $Y_h$  fonksiyonundaki bir artış ve boşluk fraksiyonu kaybı viskozitenin artmasıyla sonuçlanır. Viskozite logaritmasının (viskohilibilite) türevinin, Simha-Somcynsky boşluk teorisinden sağlanan sıcaklığın ve basıncın fonksiyonu olan boşluk kesrine,  $h=h(P, T)$  bağılılığı, üstel azalan bir davranış sergiler.

**Anahtar Kelimeler:** İzotaktik and sindiyotaktik polipropilenler, boşluk kesri, sterik hidrans, viskohilibilite, Simha-Somcynsky, taktisite.

<sup>1</sup>Karadeniz Technical University, Sürmene Abdullah Kanca Vocational School, Machinery and Metal Technologies, Machinery Department, 61530, Camburnu, Sürmene, Trabzon, Turkey, fatmadinc@ktu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7707-3062>

## 1. Introduction

Shear viscosity concerned with non-Newtonian fluids is a very important factor to characterize the polymer molecular structure and define the transport properties of polymers since they are primarily used in many technical and industrial processes. It can be defined theoretically through the zero shear viscosity model including free volume effects in connection with pressure-volume-temperature (*PVT*) measurements. The alternating method to define shear viscosity is using viscosity measurements that can be applied to a shear viscosity model. However, while *PVT* measurements are easily produced under laboratory conditions, factors such as viscous heating and heat transfer that may arise during the experimental process for shear viscosity need to be considered for an accurate assessment for the notion of the shear viscosity. Because of these drawbacks in measuring, it is very favorable to utilize theoretical derivation.

Shear viscosity has been mostly described by Cross/Carreau models and their modified forms. Hieber and Chiang (Hieber and Chiang, 1992) evaluated the capability of the above formulations to fit steady-shear-viscosity experimental results for five commercially available generic polymers. They observed that the Cross model provided a preferable correspondence to the measurements. Kadijk and Van Den Brule (Kadijk and Vandenbrule, 1994) reported that the viscosity results for polypropylene obtained by fitting data to the generalized Cross/Carreau equation were less sensitive to measuring deviation than those obtained for polystyrene and acrylonitrile-butadienestyrene terpolymer. The paper handling by Sedlacek et al. (2005) deals with the description of the shear viscosity data of seven thermoplastic liquids by making use of the Carreau-Yasuda model. Dinc et al. (2014) utilized the same measurements of the thermoplastics (Sedlacek et al., 2005) to test the fitting performance of the YDT equation for both shear and elongational viscosities.

The hole fraction influence on viscosity without directly quantifying it under pressure has become appealing academically. This may be due to the fact that the shear rate at which shear viscosity flattens to its limiting point is excessively low to be produced in rotational rheometers. Besides this difficulty, direct measuring for zero shear viscosity often requires a long duration of time. One way to obliquely determine zero shear viscosity is associating it with the structural properties of fluids, mostly free volume effects through the pressure-volume-temperature (*PVT*) measurements. To do so, a zero shear viscosity equation incorporating hole fraction parameter as a free volume measure is commonly practiced by many researchers. Utracki put into practice a modified version of the Doolittle equation (Doolittle, 1951, 1951b, 1952) to interpret the viscosity in connection with hole fraction obtained through Simha Somcynsky (SS) theory (Utracki, 1983a, 1983b, 1985, 1986; Utracki and Sedlacek, 2007). A modified version of Utracki's approach can be seen in Sedlacek et al. (2005). Yahsi (1998, 1999) derived a zero shear viscosity equation coupled

with the SS model to make use of the hole fraction parameter. In order to correlate zero shear viscosity with unoccupied site fraction, applications for the model mentioned can be seen in Refs. Yahsi and Sahin (2004) for the branched/straight-chain alkanes, Sahin et al. (2006) for their mixtures and Sahin-Dinc et al. (2022) for some diesel fuels. In addition to the viscosity at zero shear, the viscosity at constant shear rate/stress, derived from the YDT model with reference to hole fraction is estimated for the special classes of polymers, so-called the thermoplastics including also some polyolefins [(PEs (LDPE, LLDPE, HDPE) and PP] along with PMMA, PC and PS (Dinc, 2014).

The paper aiming to determine the shear viscosity is curated in two parts including non-Newtonian viscosity modeling through the YDT model and correlating zero shear viscosity with hole fraction by virtue of the linear viscosity equation. At first, the non-Newtonian viscosity observations for two types of PPs at two tested temperatures at atmospheric pressure are fitted to the YDT model. Then, the zero shear viscosity equation developed by the YDT equation (Dinc et al., 2014; Sahin-Dinc, 2015; Sahin-Dinc et al., 2015) is used to link the linear viscosity of PPs in two tactic forms with thermooccupancy function including a vacancy fractional parameter determined through the Simha Somcynsky (SS) theory. The role of stereochemistry effects induced by chain tacticity on the rheological behavior of two stereoisomer forms of PPs, namely iPP and sPP, are elucidated in each part of the study.

## 2. Theories

### 2.1. An Epitome of the Hole Theory by Simha Somcynsky (SS)

The monumental SS theory (Simha and Somcynsky, 1969) serves a precise temperature ( $T$ ), pressure ( $P$ ), volume ( $V$ ), and occupied fraction ( $y$ ) relation:

$$\begin{aligned} \tilde{P}\tilde{V}\tilde{T}^{-1} &= (1-Q)^{-1} + (2y/\tilde{T})(y\tilde{V})^{-2}[A(y\tilde{V})^{-2} - B] \\ \left[ (s-1)/s + y^{-1} \ln(1-y) \right] (s/3c) &= (Q-1/3)/(1-Q) \\ &+ (y/6\tilde{T})(y\tilde{V})^{-2} [2A - 3B(y\tilde{V})^{-2}] \end{aligned} \quad (1)$$

where  $\tilde{P}$ ,  $\tilde{V}$  and  $\tilde{T}$  indicate the reduced quantities, reduced by  $P^*$ ,  $V^*$  and  $T^*$ , respectively, and  $y = 1 - h$  is referred to as the occupied site fraction.

### 2.2. Yahsi-Dinc-Tav (YDT) Equation

In modeling viscosity determinations, the following equation is derived in respect of shear rate,  $\dot{\gamma}$ , and zero shear viscosity,  $\eta_0$ , (Dinc et al., 2014; Sahin-Dinc, 2015; Sahin-Dinc et al., 2015; Sahin-Dinc et al., 2019);

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \frac{\theta_1}{\Gamma(q+1)} \left( \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau} \right)^q + \frac{\theta_2}{\Gamma(2q+1)} \left( \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau} \right)^{2q}} \tag{2}$$

where  $\Gamma(q)$ , a function of  $q$  corresponding to the power-law index, is the gamma function. The critical stress parameter is  $\tau$  and  $\theta$  with subscripts of 1 and 2 indicates the characteristic ratio measure. In the denominator of Eq. (2), omitting the  $2q$  power term, the equation turns out to be a Cross-like model (Dinc, 2014):

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \frac{\theta_1}{\Gamma(q+1)} \left( \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau} \right)^q} \tag{3}$$

The zero-shear viscosity expressed as the zeroth-order approximation of Eq. (2) is  $\eta_0 = \eta^* e^{E_a/kT}$ . Taking the logarithm of both sides of this equation with the substitution of activation energy,  $E_a = a'q_z\Phi(1-h)/2h$ , the following equation is obtained (Dinc et al., 2014):

$$\ln \eta_0 = \ln \eta^* + \alpha Y_h, \quad Y_h = \frac{1-h}{h} \frac{1}{T} \tag{4}$$

where the viscosity-intercept  $\ln \eta^*$  corresponds to the extrapolated viscosity values when  $Y_h = 0$  at high  $T$  and low  $P$  with maximum  $h$ . A measure of activation energy is denoted by  $\alpha$ .

The parameters,  $\eta^*$  and  $\alpha$  in Eq. (4) are ascertained to be:

$$\eta^* = \frac{\sqrt{2}N_A h_p}{\pi \kappa \nu} \quad \text{and} \quad \alpha = a' \frac{q_z \Phi}{2k} \tag{5}$$

where  $\kappa$  denotes the transmission coefficient together with  $h_p$  and  $k$  symbolize Planck and Boltzmann constants, respectively. Molar segmental volume is specified by  $\nu$  and  $\Phi$  corresponds to the polymer

segment-segment interaction potential energy. The activation energy proportionality constant is denoted by  $a'$ .

The word “viscoholibility” is coined of terms viscosity and vacancy fractional part stands for the derivative of Eq. (4) (Dinc et al., 2014):

$$\left. \frac{\partial \ln \eta_0}{\partial h} \right|_T = -\frac{\alpha}{h^2 T} \quad (6)$$

### 3. CALCULATIONS

#### 3.1. $P^*$ , $V^*$ , and $T^*$ Parameters in SS Theory

The polyolefin melts taken here into account are iPP and sPP. The molecular weight (MW) and the polydispersity index (PI) of iPP are 224 300 g/mol and 4.2, respectively. The MW for sPP is 181 300 g/mol and PI is 3.95.

In Ref. Rojo et al., (Rojo et al., 2006), the SS equations were employed to evaluate the characteristic pressure  $P^*$  in a complete range of pressure together with  $V^*$  and  $T^*$  at ambient pressure. The reducing parametric quantities,  $P^*$ ,  $V^*$ ,  $T^*$  of SS are reported by Rojo et al. (2006) as  $V^* = 1.1883 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ,  $T^* = 9009 \text{ K}$ , and  $P^* = 555.2 \text{ MPa}$  for iPP;  $V^* = 1.1951 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ,  $T^* = 9533 \text{ K}$ , and  $P^* = 573.8 \text{ MPa}$  for sPP. The quantities mentioned are utilized to determine the vacancy fraction through Eqs. (1), along with the viscosity prediction. In the current study, the structural flexibility parameter is employed as  $3cs^{-1} = 1$

#### 3.2. Shear Rate Dependence on Viscosity

The rheological observations for polypropylenes examined were published by Rojo et al. (2006) in the temperature and shear rate ranges 130-190°C and 0.093 to 93.91  $\text{s}^{-1}$ , respectively at ambient pressure. The available sets of data are fitted to Eqs. (2) and (3) to acquire the zero level of shear viscosity,  $\eta_0$ , and the critical stress quantity,  $\tau$ , at atmospheric pressure and for each temperature data set together with the fraction  $q$  as a power of shear rate. In order to have  $\eta_0$  and  $\tau$ , we apply nonlinear fitting presuming that  $q$  is employed as a dispensable parameter. The optimum  $q$  quantity is set at the minimum relative Mean Absolute Percentage Error (rMAPE) in viscosity ascribed to be:



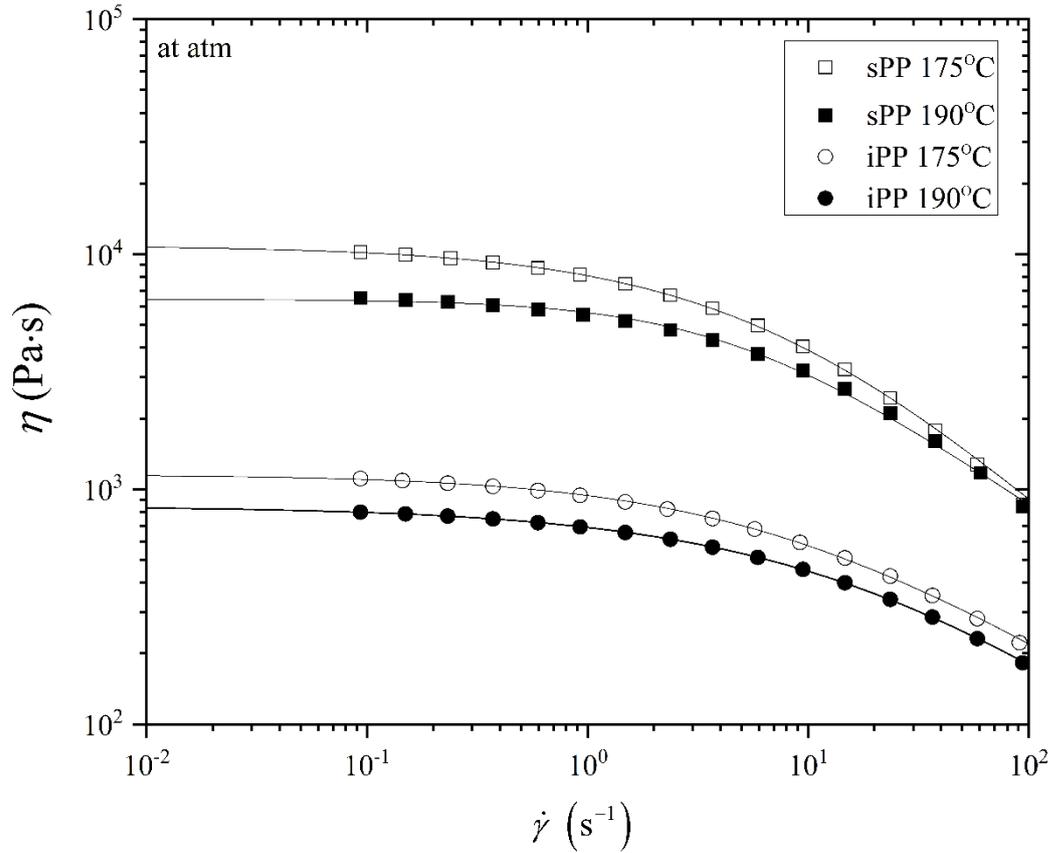
$$\Delta\eta(\%) = \frac{100}{N} \sum_i \left| 1 - \frac{\eta_i^{calc}}{\eta_i^{exp}} \right| \quad (7)$$

Table 1 lists  $\eta_0$  and  $\tau$  quantities at ambient pressure alongside with mean  $\Delta\eta(\%)$ , determined by Eq. (7) and correlation coefficient squared (the coefficient of determination),  $R^2$ . The values in parentheses are worked out via Eq. (3) while the rest with Eq. (2). The YDT and Cross-like models reveal  $\Delta\eta(\%)$  for both polymers less than %2.1 and %3.6 at ambient pressure, respectively. Hence, the YDT model fits the viscosity data with a better conformance at ambient pressure compared to the Cross-like model. In addition, the influence of tacticity or stereoregularity/stereoirregularity in the viscosity of iPP and sPP is in good agreement with measured data for iPP and sPP.

**Table 1.** Rheological parameters determined by Eq. (2) at two temperatures at ambient pressure. The values in parenthesis were obtained from Eq. (3).

Polymer	T(K)	q	$\eta_0$ (Pa·s)	$\tau$ (Pa)	$\Delta\eta$ (%)	$R^2$
iPP	448		1192.63	2755.3	1.20	0.9997
		0.550	(1164.66)	(1691.9)	(1.34)	(0.9997)
	463	(0.626)	848.862	2629.6	0.92	0.9999
			(829.653)	(1613.5)	(0.92)	(0.9999)
sPP	448		11077.0	13807.9	1.60	0.9999
		0.580	(10811.2)	(4330.5)	(2.63)	(0.9999)
	463	(0.72)	6935.85	14964.2	2.12	0.9993
			(6760.76)	(4763.6)	(3.59)	(0.9993)

Logarithmic shear viscosity vs logarithmic shear rate for PPs at two temperatures and atmospheric pressure is graphed in Figure 1 to overtly demonstrate the access of the viscosity to its limiting at both low and high shear rate values. The graph illustrates that the viscosity of PPs approaches its limiting value where it is nearly constant at the lowest shear rates, so-called the Newtonian region. The curves turn out to be straight lines evoking power-law behavior at the highest shear rates where they are appearing to be nearly converged with each other. sPP displays about 10 times higher viscosity than iPP. The substantially enhanced viscosity of sPP compared to iPP might be attributed to the difference in the conformations of iPP and sPP arising from the alternating-trans conformation of the sPP chain that couldn't be destroyed in the polymer melt completely (Eckstein et al., 1997). The alternating location of the methyl groups effectively brings on the trans configuration of the backbone and may induce a steric hindrance (Madkour and Soldera, 2001). This results in a significantly extended and expanded chain conformation (Jones et al., 2002) and a larger chain dimension of sPP in the liquid state in comparison with the isotactic analog. sPP chain becomes bulkier and restrains its segmental motion. As a sequence of this, sPP is more stable, more rigid, stiffer, and as a consequence more viscous.



**Figure 1.** The logarithm of  $\eta$  vs  $\dot{\gamma}$  of PPs with two temperatures at ambient pressure. Solid lines correspond to data fitting through Eq. (2).

### 3.3. Hole Fraction-Zero Shear Viscosity Dependence

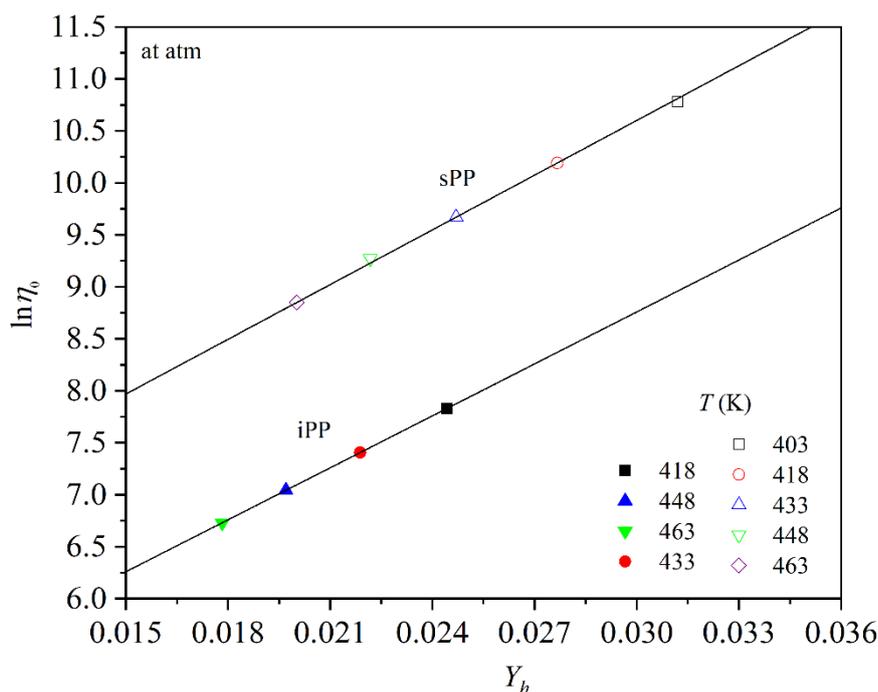
The viscosity values at zero-shear are digitized from Figure 3 in Ref. Rojo et al. (2006) with four and five temperature values for iPP and sPP, respectively. The zero-shear viscosity findings predicted by Eq. (2) in Table 1 are not used to correlate with the thermo-occupancy function,  $Y_h$ , because we have them only at two temperature references. The zero-shear viscosity observations are inserted into Eq. (4) where the vacancy fraction is worked out by adopting Eqs. (1). The quantities,  $\ln \eta^*$  and  $\alpha$  in Eq. (4) are reported in Table 2 with  $R^2$  and  $\Delta\eta(\%)$  for iPP and sPP. The average percentage deviations of viscosity data at zero shear for the tested temperatures and at atmospheric pressure are % 0.39 for iPP and %0.38 for sPP. The relative mean average percentage error in zero shear viscosity (rMAPE),  $\Delta\eta_0(\%)$ , is computed from the following expression:

$$\Delta\eta_0 (\%) = \frac{100}{N} \sum_i \left| 1 - \frac{\eta_i^{calc}}{\eta_i^{exp}} \right| \tag{8}$$

**Table 2.** Viscosity parameters of Eq. (4) (vacancy fraction dependence to viscosity) together with data fit statistics.

Polymer	$\ln\eta^*$	$\alpha$	$a' (\times 10^4)$	$\kappa$	$\Delta\eta_0 (\%)$	$R^2$
iPP	3.76	166.58	0.13	0.091	0.39	0.99998
sPP	5.33	175.40	0.16	0.019	0.38	0.99998

To elucidate the logarithmic viscosity-thermooccupancy behavior,  $\ln\eta$  vs  $Y_h$  is plotted in Figure 2 with the lines standing for the optimum approximation of the observations for the individual polymers. Through the line, the temperature drops as going higher. At the down part of the lines the temperature rises. As going lower part of the line, increased temperature gives rise to the amount of nanovoids. In addition, as going lower temperatures, the hole fraction decrement, produce less movement of molecules, peculiarly the polymers with more extended chain length and more expanded chain (Jones et al., 2002). The figure presents that sPP is a more viscous sample as expected. The figure also shows that at a given temperature at atmospheric pressure the logarithmic viscosity has a linear dependency on thermo-occupancy function.



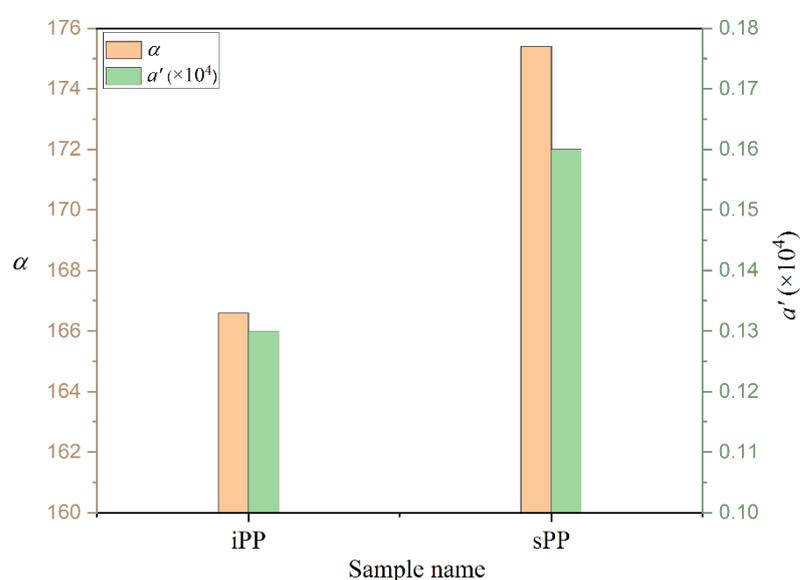
**Figure 2.**  $\ln\eta_0$  vs  $Y_h$  with the solid lines calculated by Eq. (4).

Above, each slope of the line indicates the measure of activation energy coefficient,  $\alpha$ , in the Kelvin scale, explicitly observed using Eq. (4). The magnitudes of parameters  $\alpha$  and  $a'$  go up with raising viscosity while they drop as going lower viscous materials, namely from sPP to iPP as demonstrated in Figure 2. sPP has greater  $\alpha$  and  $a'$  values relative to the isotactic analog. We can explain that this difference arises with stereoregular/stereoirregular formation of sPP and iPP in the back-bone as tacticity, respectively. The reason for higher viscous sPP melt can be described by trans configuration of the chain and the steric hindrance induced by the alternating position between methyl ( $\text{CH}_2$ ) pendant groups on the alternating neighboring chiral carbon atoms (Eckstein et al., 1997; Loos et al., 1996; Madkour and Soldera, 2001). The conformational difference of sPP due to the elongated trans configuration and steric hindrance leads to a larger chain dimension that is referred to the chain with both a larger chain diameter and longer chain length. The extended/expanded chain of sPP is characterized by a higher end-to-end distance, a measure of the characteristic ratio, sweeps out a greater volume (Madkour and Soldera, 2001; Panagiotis-Nikolaos et al., 2018). Therefore the extended coil will encounter the greater number of other chains with which it might entangle (Fetters et al., 1994) and retrains the segmental motion. The steric hindrance and higher characteristic ratio which are directly related to the viscosity lead to the chain being, respectively, more rigid and stiff with close meanings (Jones et al., 2002; Panagiotis-Nikolaos et al., 2018). A corollary of a rigid and stiff chain, sPP becomes more stable and viscous. In addition, the larger chain dimension also refers to the higher segment length and segment number that accompanied with the enhanced viscosity. In this study sPP with a higher segment length (Jones et al., 2002) has an increased viscosity with respect to the counterpart iPP. Besides, the stiffer the backbones are, the more intermolecular contacts occur. The higher intermolecular contacts results in enhanced density. From the open literature from which the author obtained the data (Rojo et al., 2006), it is reported that sPP with a lower specific volume is slightly denser than iPP (at 200 °C and ambient pressure,  $\rho_{iso} = 0.700 \text{ g/cc}$  and  $\rho_{syndio} = 0.717 \text{ g/cc}$ ). However, it is expected that an augment in the coil dimension is accompanied by a less efficient intra- and inter-molecular interaction with decreased density (Amer et al., 2015; Fetters et al., 1994; Müller, 2008; Wang and Nies, 1998) or vice versa. Although the denser sPP chain with lower hole fraction, as a kind of free volume fraction, is characterized by higher viscosity, higher density will not always induces higher viscosity. Lower free volume is also attributed to higher toughness of sPP due to the increased chain packing (Huang et al., 2015).

Further, sPP is a semicrystalline material and exhibits a low degree of crystallinity compared to iPP. Because isotacticity degree is deliberated as the basic parameter that has an impact on the crystallinity of polymers (Amer et al., 2015; Xu et al., 2019). In other words, with some exclusions,

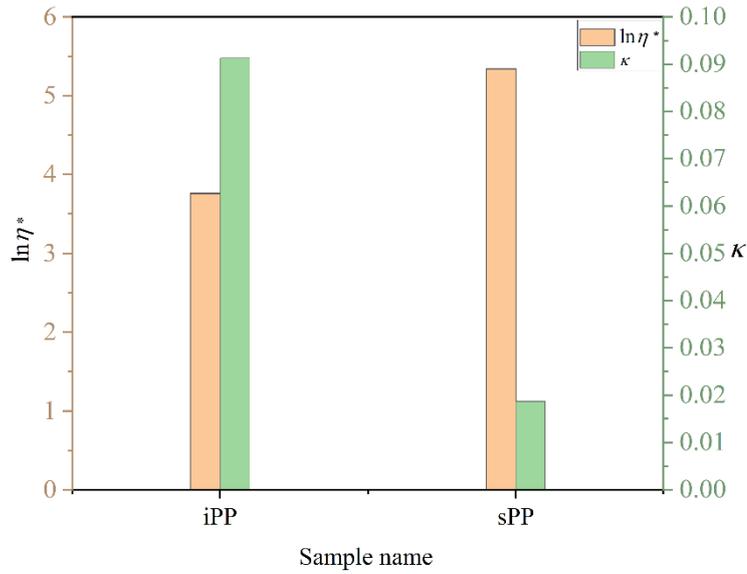
higher crystallinity accompanied by higher density and stiffness (Amer et al., 2015). Normally, low crystallinity results in decreased viscosity. In one of our study (Sahin-Dinc et al., 2015) we found that the semicrystalline sPS has high viscosity compared to the less isotactic and amorphous analog aPS. In this study, contrary to the expectation, the enhanced viscosity might not be ascribed to the isotacticity and crystallinity.

The evaluation for the peculiar behavior of sPP is that the larger chain dimension, as a result of steric hindrance due to the alternating trans configuration, induce the higher viscosity whether or not sPP is denser or less crystalline with respect to the counterpart iPP. Consequently, the more viscous material with more activation energy results in larger  $\alpha$  and  $a'$  in magnitudes.



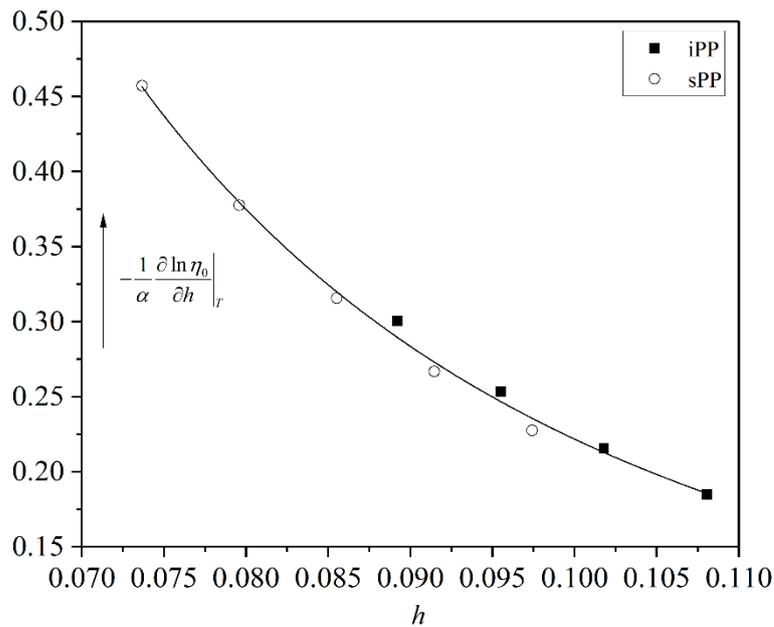
**Figure 3.** The material dependence of  $\alpha$  and  $a'$  ascertained by Eq. (4).

The transmission coefficient,  $\kappa$  and  $\ln \eta^*$ , incoming from the linear viscosity equation (Eq. (4)) are inversely related to each other as seen in Figure 4. The maximum hole fraction values at ambient pressure and higher temperature, the viscosity equals to  $\ln \eta^*$  from Eq. (4). The parameter  $\kappa$  gets higher at this condition due to the availability of hole fraction. iPP has higher  $\kappa$  but lower  $\ln \eta^*$  values compared to sPP since sPP is more viscous depending on trans-configuration conformation that can't be destructed in the liquid state thoroughly.

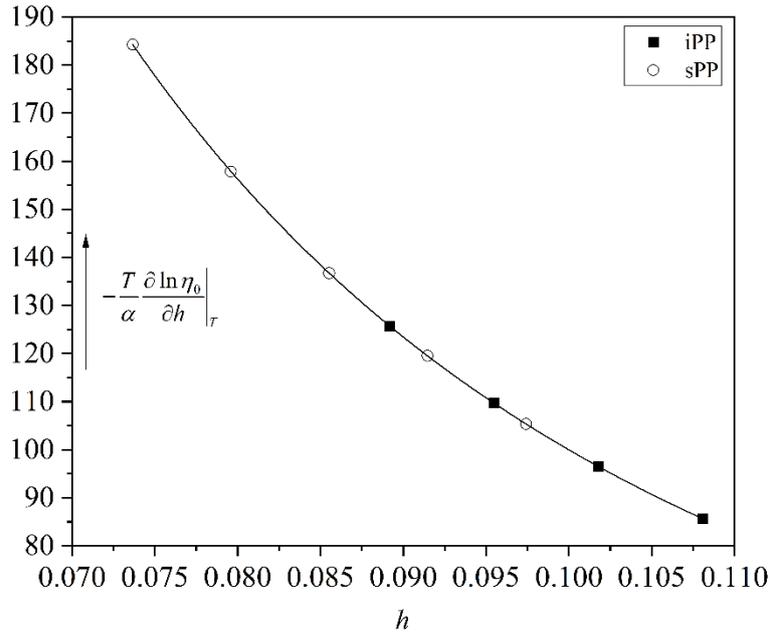


**Figure 4.** The material dependence of  $\ln \eta^*$  and  $\kappa$ , ascertained by Eq. (4).

The graphical summary of the differentiation of logarithm of zero shear viscosity (viscoholibility), vs hole fraction in Figure 5, presents the viscosity change with reference to  $h$ , at constant  $T$  while the fraction  $h$  varies through the abscissa axis. The viscoholibility over the structure-related parameter,  $-\alpha$ , defined in Eq. (6), coincides with the whole data, on the ordinate axis. The viscoholibility times temperature,  $T$  on the vertical axis in Figure 6 demonstrates a smoother graph.



**Figure 5.**  $(-1/\alpha)(\partial \ln \eta_0 / \partial h)|_T$  vs  $h$  dependence via Eq. (6) for the polypropylenes under study.



**Figure 6.** Dependence of  $(-T/\alpha)(\partial \ln \eta_0 / \partial h)|_{\tau}$  vs  $h$  dependence via Eq. (6) for the polymers under study.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The YDT equation organized to define the non-Newtonian viscosity of polypropylenes can favorably fit the shear viscosity measurements of PPs at ambient pressure. The zero shear viscosity established from the YDT model at zero shear has a direct relation with temperature- and hole fraction (defined by SS theory) dependent thermooccupancy function. The magnitudes of the parameters in the zero shear viscosity model namely activation energy and transmission coefficient change with polymer conformation and structure that is affected by tacticity. The viscoholibility of PPs in two tactic forms of iPP and sPP goes down with hole fraction which is a measure of structural defects. It is shown that the steric hindrance resulting from the alternating positions of methyl side groups has effects on the materials to be more viscous, rigid, and stiffer. An interesting future work could be on predicting other thermophysical properties such as thermal conductivity for different families of liquids including nanofluids or ionic fluids with a similar approach followed in the present study.

#### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Amer, I., van Reenen, A., Mokrani, T. (2015). Molecular weight and tacticity effect on morphological and mechanical properties of Ziegler–Natta catalyzed isotactic polypropylenes. *Polymeros*, 25(6), 566-563. doi: 10.1590/0104-1428.2158
- Dinc, F. S., Sedlacek, T., Tav, C., and Yahsi, U. (2014). On the Non-Newtonian Viscous Behavior of Polymer Melts in Terms of Temperature and Pressure-Dependent Hole Fraction. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(15), 40541-40510. doi: 10.1002/app.40540
- Doolittle, A. K. (1951). Studies in Newtonian Flow .1. The Dependence of the Viscosity of Liquids on Temperature. *Journal of Applied Physics*, 22(8), 1031-1035.
- Doolittle, A. K. (1951b). Studies in Newtonian Flow .2. The Dependence of the Viscosity of Liquids on Free-Space. *Journal of Applied Physics*, 22(12), 1471-1475.
- Doolittle, A. K. (1952). Studies in Newtonian Flow .3. The Dependence of the Viscosity of Liquids on Molecular Weight and Free Space (in Homologous Series). *Journal of Applied Physics*, 23(2), 236-239. doi: 10.1063/1.1702182
- Eckstein, A., Friedrich, C., Lobbrecht, A., Spitz, R. and R. Mulhaupt. (1997). Comparison of the viscoelastic properties of syndio- and isotactic polypropylenes. *Acta Polymer*, 48, 41-46. doi:10.1002/actp.1997.010480107
- Fetters, L. J., Lohse, D. J., Richter, D., Witten, T. A., Zirkel, A. (1994). Connection between Polymer Molecular Weight, Density, Chain Dimensions, and Melt Viscoelastic Properties. 27(17), 4639-. doi:10.1021/ma00095a001
- Hieber, C. A., and Chiang, H. H. (1992). Shear-Rate-Dependence Modeling of Polymer Melt Viscosity. *Polymer Engineering and Science*, 32(14), 931-938. doi: 10.1002/pen.760321404
- Huang, T., Miura, M., Nobukawa, S., Yamaguchi, M. (2015). Chain Packing and Its Anomalous Effect on Mechanical Toughness for Poly(lactic acid). *Biomacromolecules*, 16(5), 1660-1666. doi:10.1021/acs.biomac.5b00293
- Jones, T. D., Chaffin, K. A., and Bates, F. S. (2002). Effect of Tacticity on Coil Dimensions and Thermodynamic Properties of Polypropylene. *Macromolecules*, 35, 5061-5068. doi: 10.1021/ma011547g
- Kadijk, S. E., and Vandenbrule, B. H. A. A. (1994). On the Pressure Dependency of the Viscosity of Molten Polymers. *Polymer Engineering and Science*, 34(20), 1535-1546. doi: 10.1002/pen.760342004
- Loos, J., Buhk, M., Petermann, J. (1996). Morphological studies on syndiotactic polypropylene prepared by ansa-metallocenes. *Polymer Bulletin*, 37(3), 387-391. doi:10.1016/0032-3861(96)82907-7
- Madkour, T. M., Soldera, A. (2001). Tacticity induced molecular microstructure dependence of the configurational properties of metallocene-synthesized polypropylenes. *European Polymer Journal*, 37(6), 1105-1113. doi:10.1016/S0014-3057(00)00227-5
- Müller, M. (2008). Miscibility behavior and single chain properties in polymer blends: a bond fluctuation model study. *Macromolecular Theory and Simulations*, 8(4), 343-374. doi:10.1002/(SICI)1521-3919(19990701)8:4<343::AID-MATS343>3.0.CO;2-F
- Panagiotis-Nikolaos, T., Argyropoulou, D. V., Anogiannakis, S. D., & Theodorou, D. N. (2018). Tacticity Effect on the Conformational Properties of Polypropylene and Poly(ethylene–propylene) Copolymers. *Macromolecules*, 51(17), 6878-6891. doi:10.1021/acs.macromol.8b01099
- Rajo, E., Fernandez, M., Munoz, M. E., and Santamaria, A. (2006). Relation between PVT measurements and linear viscosity in isotactic and syndiotactic polypropylenes. *Polymer*, 47(23), 7853-7858. doi: 10.1016/j.polymer.2006.09.019
- Sahin-Dinc, F. (2015). Hole Fraction Dependence on Linear Viscosity of PS, PP and ABS. *International Polymer Processing*, 30(5), 585-592. doi: 10.3139/217.3101
- Sahin-Dinc, F., Sorrentino, A., Tav, C., Yahsi, U. (2015). The Effect of Hole Fraction on Viscosity in Atactic and Syndiotactic Polystyrenes. *International Journal of Thermophysics*, 36(9), 3239-3254. doi: 10.1007/s10765-015-1990-4
- Sahin-Dinc, F., Yahsi, U., Sedlacek, T. (2019). Interrelationships of Pressure-Dependent Hole Fraction and Elongational Viscosity in Polymer Melts. *Advances in Polymer Technology*, 2019, 1-16. doi:10.1155/2019/9493769



- Sahin-Dinc, F. (2022). Free volume vacancy behaviour and dynamic viscosity of diesel fuels with additives at elevated temperature and pressure: thermo-occupancy function. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 30(2), 209-228. doi: 10.1504/IJOGCT.2022.122624
- Sahin, F., Tav, C., and Yahsi, U. (2006). Linking the viscous and vacancy behavior of mixtures of high-molecular-weight hydrocarbons. *International Journal of Thermophysics*, 27(5), 1501-1514.
- Sedlacek, T., Cermak, R., Hausnerova, B., Zatloukal, M., Boldizar, A., and Saha, P. (2005). On PVT and rheological measurements of polymer melts - Correction of the hole fraction-viscosity relationship. *International Polymer Processing*, 20(3), 286-295. doi: 10.3139/217.1890
- Simha, R., and Somcynsk, T. (1969). On Statistical Thermodynamics of Spherical and Chain Molecule Fluids. *Macromolecules*, 2(4), 342-350 doi: 10.1021/ma60010a005
- Utracki, L. A. (1983a). Pressure-Dependence of Newtonian Viscosity. *Polymer Engineering and Science*, 23(8), 446-451. doi: 10.1002/pen.760230806
- Utracki, L. A. (1983b). Temperature and Pressure-Dependence of Liquid Viscosity. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 61(5), 753-758. doi: 10.1002/cjce.5450610518
- Utracki, L. A. (1985). A Method of Computation of the Pressure Effect on Melt Viscosity. *Polymer Engineering and Science*, 25(11), 655-668. doi: 10.1002/pen.760251104
- Utracki, L. A. (1986). Correlation between PVT Behavior and the Zero-Shear Viscosity of Liquid-Mixtures. *Journal of Rheology*, 30(4), 829-841. doi: 10.1122/1.549911
- Utracki, L. A., and Sedlacek, T. (2007). Free volume dependence of polymer viscosity. *Rheologica Acta*, 46(4), 479-494. doi: 10.1007/s00397-006-0133-z
- Wang, S., Nies, E. (1998). A theory for compressible binary lattice polymers: influence of chain conformational properties. *Journal of Chemical Physics*, 109(13), 5639-5650. doi: 10.1063/1.477182
- Xu, R., Zhang, P., Wang, H., Chen, X., Xiong, J., Su, J., Peng Chen, P., and Zhang, Z. (2019). Structure and Properties of a Metallocene Polypropylene Resin with Low Melting Temperature for Melt Spinning Fiber Application. *Polymers*, 11(729). doi: 10.3390/polym11040729
- Yahsi, U. (1998). Interrelationships between P-V-T and flow behavior of linear and nonlinear hydrocarbons. *Polymer Engineering and Science*, 38(3), 464-470. doi: 10.1002/pen.10208
- Yahsi, U. (1999). Viscous behavior of linear and three-branch alkanes: Linking the equilibrium and transport theories. *Journal of Polymer Science Part B-Polymer Physics*, 37(9), 879-887. doi: 10.1002/(SICI)1099-0488(19990501)
- Yahsi, U., and Sahin, F. (2004). Linking the viscous and vacancy behavior of high molecular weight hydrocarbons. *Rheologica Acta*, 43(2), 159-167. doi: 10.1007/S00397-003-0330-Y

## Dengesiz Veri Kümelerinde Topluluk Yöntemlerine Dayalı Melanom Sınıflandırılması

Elif KANCA<sup>1</sup>, Selen AYAS<sup>2\*</sup>

### Öz

Dermoskopi görüntüleme, deri kanseri teşhisi için dermatolojistler tarafından yaygın bir biçimde kullanılan bir tanı metodudur. Dermatolojik değerlendirmenin uzman kişiye bağlı, zaman alıcı ve sübjektif olmasından dolayı otomatik sistemler dermatolojistler tarafından karar verme süreçlerine katkı sağlamaları için tercih edilmektedir. Deri lezyon görüntülerinden melanomların tespit edilmesi hastalığın erken teşhisi ile tedavi sürecini hızlandırarak hastalık ve ölüm oranlarını azaltmaktadır. Bu çalışmada cilt bölgesinden alınan görüntülerden oluşan erişime açık ISIC 2017 veri kümesindeki lezyon bölgelerinin öznitelikleri incelenerek görüntüler melanom ya da nevüs ve seboreik keratoz olarak sınıflandırılmıştır. Melanom verisine ait lezyon özniteliklerini temsil etmek için lezyon bölgesinin şekil, renk ve doku öznitelikleri elde edilmiştir. Çıkarılan öznitelikler k-en yakın komşuluk, destek vektör makineleri ve topluluk öğrenme yöntemlerinden kolay topluluk, RUSBoost, dengelenmiş torbalama ve dengelenmiş rastgele orman sınıflandırıcıları ile sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi sınıflandırma sonuçları sırasıyla %100, %99.17, %99.33 ve %99.58 duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve dengeli doğruluk değerleri ile RUSBoost sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlar önerilen öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yönteminin lezyon bölgelerinden melanom sınıflandırması için büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Deri lezyonu sınıflandırma, Şekil ve doku öznitelikleri, Topluluk öğrenme sınıflandırıcıları.

## Ensemble Methods-Based Melanoma Classification in Imbalanced Datasets

### Abstract

Dermoscopy imaging is a diagnostic method widely used by dermatologists for the diagnosis of skin cancer. Since dermatological evaluation is dependent on the expert, timeconsuming and subjective, automated systems are preferred by dermatologists to contribute to the decision-making processes. Detection of melanomas from skin lesion images accelerates the treatment process together with the early diagnosis of the disease and reduces the morbidity and mortality rates. In this study, the features of the lesion areas in the public ISIC 2017 dataset consisting of images taken from the skin area were examined and the images were classified as melanoma and nevus or seborrheic keratosis. Shape, color and texture features of the lesion areas were obtained to represent the lesion features of the melanoma data. Extracted features were classified by k-nearest neighbor, support vector machines, and ensemble learning classifiers which are easy ensemble, RUSBoost, balanced bagging and balanced random forest classifier. According to the obtained results, the best classification results were obtained with the RUSBoost Classifier with 100%, 99.17%, 99.33% and 99.58% sensitivity, specificity, accuracy and balanced accuracy values, respectively. The achieved results show that the proposed feature extraction and classification method has great potential for melanoma classification from lesion areas.

**Keywords:** Skin lesion classification, Shape and texture features, Ensemble learning classifiers.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, 407969@ogr.ktu.edu.tr

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, selenguyen@ktu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4273-9295> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8226-2359>

## 1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre deri kanseri 2020 yılında yaklaşık 1.20 milyon yeni vaka sayısı ile dünyadaki en sık görülen kanser türleri arasındadır (WHO). Son yıllarda ise yeni vaka ve ölüm oranları hızla yükselmektedir (SCF). Erken teşhis edildiğinde birçok deri kanseri türü tedavi edilerek hastalık ve ölüm oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Bu sebeple, doğru ve erken tanı uygun tedavi için oldukça önemlidir (CDC). Dermoskopi, deri lezyonlarının görsel incelenmesine olanak sağlayan, dermatolojistler tarafından yaygın bir biçimde tercih edilen ve müdahale gerektirmeyen bir tanı metodudur. Bu görüntüleme tekniği ile çıplak gözle görülmeyen deri alt yüzeylerinin polarizeli ışık ya da yağ/jel ara yüzü aracılığıyla bir büyütme aleti kullanılarak daha gelişmiş görüntülenmesi sağlanmaktadır (Goodson ve Grossman, 2009; Silveira ve ark. 2009). Dermoskopi görüntülemenin teşhis doğruluğunu artırdığı görülse de manuel görsel inceleme hala dermatolojistin eğitimine bağlı olmakla birlikte oldukça subjektif, hata yapmaya yatkın ve zaman alan bir durumdur (Binder ve ark., 1995; Celebi ve ark., 2008). Bu sebeple otomatik teşhis dermatolojistler tarafından karar verme süreçlerine katkı sağlamaları için sıklıkla tercih edilmektedir.

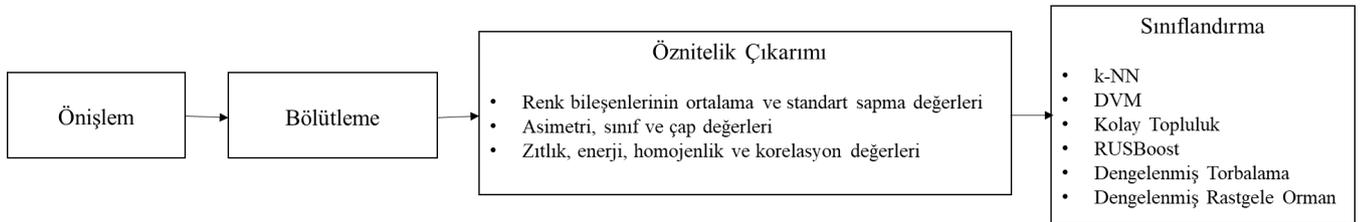
Deri lezyonu analizinde ilk önerilen yaklaşımlar lezyon bölgesi üzerinden el ile çıkartılmış şekil, simetri, renk ve doku gibi düşük seviyeli öznitelikler ile eş oluşum matrisi, ortalama ve varyans gibi istatistiksel doku özniteliklerinin kullanıldığı makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlardır (Celebi ve ark., 2019). Bir diğer çalışmada (Ganster ve ark., 2001) mikroskoptan alınan görüntüler üzerinde öncelikle basit bölütleme yöntemleri ile deri lezyonunun ikili maske görüntüsünü oluşturmuşlardır. Ardından, biçim ve radyometrik öznitelikler ile yerel ve global parametreleri hesaplayarak en belirleyici öznitelikleri öznitelik alt seçimi yöntemleriyle seçmişlerdir. Belirlenen öznitelikler  $k$ -en yakın komşuluk ( $k$ -NN) yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Dermoskopi görüntülerindeki lezyonu arka dokudan ayırmak için otomatik sınır algılama yöntemi farklı bir çalışmada kullanılmıştır (Celebi ve ark., 2007). Elde edilen lezyon bölgesinin şekil, renk ve doku öznitelikleri çıkarılarak en uygun öznitelikler öznitelik seçim algoritmaları ile belirlenmiştir. Geleneksel renk, şekil ve doku öznitelikleri kullanarak lezyon bölgelerini Destek Vektör Makinaları (DVM) yöntemi ile iyi huylu ve kötü huylu olarak sınıflandıran bir başka çalışma literatürde bulunmaktadır (Chang ve ark., 2013).

Bu çalışmada ISIC 2017 (ISIC) yarışmasında açık kullanıma sunulmuş veri kümesi üzerinde verilen problemlerden 'Görev 3: Lezyon Sınıflandırması' üzerinde çalışılmıştır. Literatürde bu veri kümesi üzerinde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu derin öğrenme ağlarının çeşitli birleşimini önermektedir. Bunun yanı sıra, yine bu çalışmaların birçoğunda ISIC 2017 veri kümesinden farklı olarak eğitimde harici veri kümelerini kullanmışlardır. Literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak çalışmamızda el ile çıkarılan öznitelikler kullanılarak lezyon sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, veri kümesi görüntüleri üzerinde ön işlem uygulanıp artefaktlar

görüntüden kaldırıldıktan sonra ilgili lezyon bölgesinin doku bilgisinden ayrılması için görüntüler bölütlenmiştir. Daha sonra bölütlenmiş lezyon bölgelerinin şekil özniteliklerinden asimetri, sınır ve çap; renk özniteliklerinden kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları; ve doku özniteliklerinden zıtlık, enerji, homojenlik ve korelasyon öznitelikleri çıkartılmıştır. Çıkartılan öznitelikler üzerinde  $k$ -NN, DVM (Cortes ve Vapnik, 1995) ve topluluk yöntemlerinden Kolay Topluluk (Liu ve ark., 2008), RUSBoost (Seiffert ve ark., 2009), Dengelenmiş Torbalama (Breiman, 1996) ve Dengelenmiş Rastgele Orman (Breiman, 2001) sınıflandırıcıları test edilmiş, sınıflandırıcıların başarısı duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve dengeli doğruluk ölçütleri ile karşılaştırılmıştır.

Makalenin devamında, Materyal ve Metod bölümünde çalışma kapsamında kullanılan veri setinin tanıtımı, veri kümesindeki görüntüler üzerinde uygulanan ön işlem ve bölütleme adımları, görüntülerden çıkartılan şekil, doku, renk özniteliklerinin matematiksel tanımları ve ardından çalışmada kullanılan  $k$ -NN, DVM ve topluluk yöntemleri sınıflandırıcılarının teorik detayları açıklanmıştır. Daha sonra, Bulgular ve Tartışma başlığı altında sayısal karşılaştırma için kullanılan metrikler verildikten sonra sınıflandırıcılarla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar ve Öneriler kısmında ise önerilen yöntemin verimliliği gösterilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

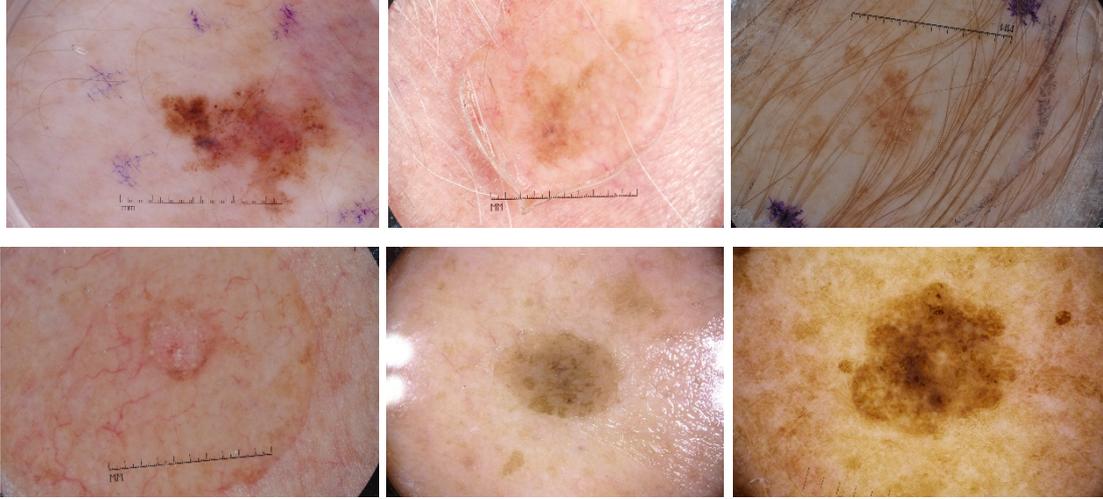


Şekil 1. Önerilen yöntemin akış diyagramı.

Topluluk yöntemlerine dayalı melanom sınıflandırmasına yönelik önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 1’de verilmektedir. Tüm süreçler bu bölümdeki alt başlıklarda detaylandırılacaktır.

### 2.1. Veri Seti Tanıtımı

ISIC 2017 yarışmasının sınıflandırma problemi, deri lezyonlarının 3 farklı teşhisini (melanom, nevüs ve seboreik keratoz) içeren 2 bağımsız ikili sınıflandırma problemini çözmek için 2000 eğitim verisi ve 600 test verisinden oluşmaktadır. Eğitim veri kümesi 374 melanom, 254 seboreik keratoz ve 1372 nevüs görüntüsünden oluşmaktadır. Sınıf bilgisi 0 olan görüntü sayısı 374 iken sınıf bilgisi 1 olan görüntü sayısı 1626 olduğundan veri kümesi dengesiz dağılmıştır. Birinci ikili sınıflandırma



**Şekil 2.** ISIC 2017 birinci ikili sınıflandırma problemindeki eğitim görüntüleri örnekleri: üst satır: melanom; alt satır: nevüs ve seboreik keratoz.

probleminde deri lezyonlarının melanom ile nevüs ve seboreik keratoz arasında sınıflandırılması istenirken ikinci sınıflandırma probleminde seboreik keratoz ile nevüs ve melanom ayrımı istenmektedir. Önerilen çalışma kapsamında ilk ikili sınıflandırma problemi ele alınmıştır. Sınıf etiketi 0 ise lezyon melanom, 1 ise lezyon nevüs ya da seboreik keratozdur. ISIC 2017 veri kümesindeki bazı örnek görüntüler Şekil 2’de verilmektedir.

## 2.2. Önışlem

Görüntülerin işlenmesi için gereken hesaplama karmaşıklığının düşürülmesi amacıyla öncelikle farklı ve yüksek boyutlara sahip tüm dermoskopi görüntüleri piksel alan ilişkisi kullanarak yeniden örnekleme ile  $224 \times 224$  boyutuna ölçeklendirilmiştir.

Görüntülerin üzerindeki saç ve cetvel işaretlemeleri gibi artefaktlar bölütleme aşamasında doğru sonuçlar alınmasını engellemektedir. Bu sorunun giderilmesi için dullRazor algoritması (Lee ve ark., 1997) kullanılmıştır. DullRazor algoritmasının işlem adımları şu şekildedir: 1) Küçük detayları kaldırmak için gri seviyeye dönüştürülen görüntü üzerinde morfolojik kapatma işlemi uygulanır, 2) elde edilen görüntü ile gri seviye görüntü arasındaki fark alınır, 3) gürültüyü kaldırmak için fark görüntüsünün maskesine kapatma işlemi uygulanır, 4) artefaktların bulunduğu bölgeleri içeren ikili bir maske oluşturulur, 5) orjinal görüntüden, maskenin kapsadığı pikseller orjinal görüntüye karşılık gelen piksellerle değiştirilir (Messadi ve ark., 2009).

### 2.3. Bölütleme

Lezyon bölgelerinin görüntü içerisindeki yerlerinin belirlenmesi ve arka plan piksellerinden ayrılması amacıyla yapılan lezyon bölütlemesi melanom sınıflandırmasının en önemli adımını oluşturmaktadır. Dermoskopi görüntülerinde arka plandaki görüntü alımından kaynaklı bozucu gürültü etkilerini ortadan kaldırarak sadece ilgili lezyon bölgesinin sınır çizgilerini elde edebilmek için ön işlemleri tamamlanan RGB renk uzayındaki görüntü HSV renk uzayına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm için görüntünün her bir pikselinin R, G, B değerleri bulunur ve [0,1] arasında normalize edilir ( $R', G', B'$ ). Normalize edilen değerler arasında maksimum olan değer  $C_{max}$ , minimum olan değer ise  $C_{min}$  olarak atanır.  $C_{max}$  ve  $C_{min}$  değerleri arasındaki fark ise  $\Delta$  değerini oluşturur. Bulunan bu değerler yardımıyla H, S, V değerleri sırasıyla (1-3) eşitlikleriyle hesaplanır. Gauss bulanıklaştırma uygulanan görüntüyle HSV uzayındaki görüntünün ağırlıklı toplamları hesaplanarak yeni bir görüntü elde edilmiştir ve eşikleme uygulanması için gri seviyeye dönüştürülmüştür. Dönüştürülen görüntüye ikili eşikleme ve Otsu eşikleme birlikte uygulanmıştır. Otsu eşiklemede, gri seviyeye dönüştürülen görüntünün histogramı, tek eşik değeri için oluşan ön ve arka piksellerin ağırlığı ( $w_{\bar{o}}, w_a$ ), ortalaması ve varyansları ( $V_{\bar{o}}, V_a$ ) hesaplanır. Son olarak sınıf içi varyans eşitlik (4) ile hesaplanır (Bangare ve ark., 2015).

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left( \frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), & C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left( \frac{G' - B'}{\Delta} + 2 \right), & C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left( \frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), & C_{max} = B' \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} 0, & C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & C_{max} \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$V = C_{max} \quad (3)$$

$$\text{Sınıf içi varyans} = w_{\bar{o}} \times V_{\bar{o}} + w_a \times V_a \quad (4)$$

### 2.4. Öznitelik Çıkarımı

Bölütlenmiş görüntünün elde edilmesinden sonra lezyon bölgesinin bazı klinik öznitelikleri çıkarılarak melanom ile nevüs ve seboreik sınıfı birbirinden ayırt edilebilmektedir. Klinik öznitelikler

doku, şekil ve renk öznitelikleri olmak üzere 3 farklı kategoride incelenebilmektedir (Okur ve Turkan, 2018). Renk öznitelikleri bölütlenen lezyon bölgesinin maskesi ile RGB görüntüsü üzerinden her bir renk kanalı için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında renk öznitelikleri olarak RGB renk bileşenlerinin ortalama değerleri ve standart sapma değerleri kullanılmıştır. Şekil öznitelikleri olarak ABCD kuralı (Tsao ve ark., 2015) olarak bilinen ve lezyonun 4 farklı karakteristiğini ortaya koyan asimetri (A-asymmetry), sınır (B-border), renk (C-color) ve çap (D-Diameter) özniteliklerinden asimetri, sınır ve çap özelliği kullanılmıştır. Asimetri özelliği lezyon bölgesinin ikinci dereceden momentiyle aynıdır. Lezyonun en uzun eksen uzunluğu ile en kısa eksen uzunluğu arasındaki uzaklığın oranı olarak tanımlanmakta ve 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Sınır özelliği, deri görüntüsü üzerindeki lezyonun sınırını tanımlamaktadır. Melanom oldukça düzensiz bir yapıda pürüzlü kenarlara ve dolayısıyla yüksek sınır değerine sahiptir. Sınır özelliği (5) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$B = \frac{4 \times p_i \times A}{P^2} \quad (5)$$

Burada B, sınır özelliğini; A, lezyonun alanını ve P, lezyonun çevresini ifade etmektedir. Çap özelliği, lezyonun sınır bölgeleri elde edildikten sonra iki nokta arasında ( $p_1 = (x_1, y_1)$  ve ( $p_2 = (x_2, y_2)$ )) öklid uzaklığı eşitliği kullanılarak hesaplanan en büyük mesafe olarak tanımlanmaktadır. Gri seviye eş oluşum matrisi piksellerin farklı açısız yönlerde ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ ) uzamsal ilişkilerine dayalı oluşum olasılıklarını ifade eden görüntü öznitelik çıkarımı için kullanılan bir matristir (Sheha ve ark., 2012). Dokusal öznitelikler olarak çalışmada gri seviye eş oluşum histogramı oluşturulmuş ve sırasıyla (6-9) eşitlikleri kullanılarak zıtlık, enerji, homojenlik ve korelasyon öznitelikleri çıkartılmıştır.

$$\text{Zıtlık} = \sum_{i,j=0}^{l-1} P_{i,j} (i - j)^2 \quad (6)$$

$$\text{Enerji} = \sqrt{\sum_{i,j=0}^{l-1} P_{i,j}^2} \quad (7)$$

$$\text{Homojenlik} = \sum_{i,j=0}^{l-1} \frac{P_{i,j}}{1+(i-j)^2} \quad (8)$$

$$\text{Korelasyon} = \sum_{i,j=0}^{l-1} P_{i,j} \left[ \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)}} \right] \quad (9)$$

Eşitliklerde P, gri seviye eş oluşum histogramını verirken P[*i, j, d, açt*] değeri j. gri seviyenin i. gri seviyeden belirli bir açt değerinde ve *d* uzaklığında meydana gelme sayısını vermektedir. *l* giriş görüntüsünün gri seviyesi sayısını göstermektedir.

## 2.5. Sınıflandırma

### 2.5.1. K-En Yakın Komşu Algoritması

*k*-NN algoritması uzaklık metriği kullanan parametrik olmayan bir danışmanlı öğrenme algoritmasıdır. Sınıflandırılacak olan bir lezyon görüntüsünden çıkarılan öznitelikler, benzer lezyonlarda birbirine yakın olacağı için yakınlık ilişkisi kullanılmaktadır. Yakınlık ilişkisi, eğitim örneklerinden çıkarılan öznitelikler ile yeni bir test örneğinden çıkarılan öznitelikler arasında matematiksel bir uzaklık hesaplaması yapılarak kurulur. Ardından, K tane en yakın komşu seçilerek bu örnekler üzerinde çoğunluk oylaması ile yeni örneğin sınıfı belirlenir. Bu çalışmada (10)'da verilen Öklid uzaklık metriği kullanılmıştır:

$$\text{Öklid uzaklığı} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (10)$$

Burada  $x_i$  ve  $y_i$  eğitim ve test örneklerinden çıkarılan öznitelik vektörünü ifade etmektedir.

### 2.5.2. Destek Vektör Makineleri

DVM genellikle sınıflandırma için kullanılan denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır. Bu algorithmada öznitelikler N boyutlu bir uzay (N- öznitelik sayısı) üzerine yerleştirilmiş noktalardır. Bir hiper düzlem ile iki sınıfın noktalarının birbirinden ayrılması ve hiper düzlemin iki sınıfa olan marj mesafesinin maksimum olması amaçlanır. Maksimum olmasındaki amaç ise yeni gelecek olan veri noktalarının daha güvenli bir şekilde sınıflandırılmasını sağlamaktır. Çekirdek fonksiyonları kullanılarak öznitelik vektörleri yüksek boyutlu bir öznitelik uzayına iz düşürülerek bu uzayda doğrusal olarak ayrılmaktadır. Çekirdek fonksiyonu kullanan karar fonksiyonu eşitlik (11) ile tanımlanmaktadır.

$$H(x) = \text{sgn} \left( \sum_{j=1}^l \alpha_j y_j K(x_i, x_j) + b \right) \quad (11)$$



Burada  $x$ , giriş vektörünü;  $y$ , çıkış sınıf bilgisini ve  $K(x_i, x_j)$  çekirdek fonksiyonunu ifade etmektedir.  $\alpha_i$  ve  $b$  katsayıları (13) eşitliğinde verilen  $\alpha_i$ 'ye göre maksimize edilmesi gereken (12) eşitliğinden elde edilmektedir.

$$\max L_D = \sum_{i=1}^L \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^L \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i x_j) \quad (12)$$

$$\text{öyle ki } 0 \leq \alpha_i \leq C, \forall i=1, \dots, L \text{ ve } \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0 \quad (13)$$

Burada  $C > 0$  düzenleme parametresini ifade etmektedir.

### 2.5.3. Kolay Topluluk Sınıflandırıcısı

Kolay Topluluk Sınıflandırıcısı, dengesiz olarak dağılmış bir veri setinde azınlık olan sınıfın tüm örneklerini çoğunluk olan sınıfın ise bir alt kümesini seçerek eğitim veri setinde dengeli bir örnekleme oluşturur. Böylece, alt örnekleme yaklaşımları ile yok sayılan çoğunluk olan sınıftan da faydalanılmaktadır.

$\mathcal{P}$ , azınlık olan sınıfın eğitim veri kümesi ve  $\mathcal{N}$ , çoğunluk olan sınıfın eğitim veri kümesi olarak verildiğinde alt örnekleme yaklaşımı  $\mathcal{N}$  kümesinden  $T$  adet  $\mathcal{N}'$  rastgele alt kümesi oluşturmaktadır. Her bir  $\mathcal{N}_i$  ( $1 \leq i \leq T$ ) alt kümesi için  $\mathcal{N}_i$  ve tüm  $\mathcal{P}$  kümesi kullanılarak bir  $H_i$  sınıflandırıcısı eğitilmektedir. Bu sınıflandırıcıda her bir  $H_i$  sınıflandırıcısı AdaBoost (Schapire, 1999) algoritması kullanılarak (14) eşitliği ile eğitilmiştir.

$$H_i(x) = \text{sgn} \left( \sum_{j=1}^{s_i} \alpha_{i,j} h_{i,j}(x) - \theta_i \right) \quad (14)$$

Burada  $H_i$ ,  $s_i$  adet  $h_{i,j}$  zayıf sınıflandırıcısını ve bunlara karşılık gelen  $\alpha_{i,j}$  ağırlıklı bir Adaboost topluluğunu göstermektedir.  $\theta$  ise topluluğun eşik değerini göstermektedir. Oluşturulan tüm sınıflandırıcılar sonuç karar için (15) eşitliğindeki gibi birleştirilmektedir.

$$H(x) = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{s_i} \alpha_{i,j} h_{i,j}(x) - \sum_{i=1}^T \theta_i \right) \quad (15)$$

### 2.5.4. RUSBoost Sınıflandırıcı

RUSBoost dengesiz dağılım gösteren veri setlerinde eğitilen modellerin performansını geliştirmek için tasarlanan veri örnekleme ve yükseltme tabanlı bir algoritmadır. Yöntem temel olarak Adaboost algoritması ile çoğunluk olan sınıftan rastgele bazı örnekleri kaldıran veri örnekleme kavramını birleştiren bir yaklaşım sunmaktadır.

Veri kümesindeki  $m$  adet örnekten her birinin  $(x_i, y_i)$  ikilisi olarak temsil edildiğini,  $t$ 'nin 1 ile maksimum iterasyon sayısı  $T$  (topluluktaki sınıflandırıcı sayısı) arasındaki iteratif ilerlemeyi gösterdiğini,  $h_t$ 'nin  $t$ . adımdaki eğitilmiş zayıf hipotezi ifade ettiğini ve  $D_t(i)$ 'nin  $t$ . iterasyondaki  $i$ . örneği gösterdiğini varsayalım. RUSBoost algoritması bu varsayımlar altında şu şekilde çalışmaktadır:

İlk olarak her örneğin ağırlığı  $1/m$  olarak başlangıç değerine ayarlanır. Geçici oluşturulan bir eğitim veri kümesinin  $\%N$ 'i (azınlık sınıf tarafından temsil edilecek toplam örneklerin istenen yüzdesi) azınlık sınıfına ait olana kadar çoğunluk sınıfı örneklerini kaldırmak için rastgele alt örnekleme veri kümesine uygulanır. Yeni oluşturulan veri kümesi ve ağırlık dağılımları  $h_t$  zayıf hipotezini oluşturacak olan temel sınıflandırıcıya gönderilir. Orijinal eğitim veri seti ve ağırlık dağılımları kullanılarak hata değeri hesaplandıktan sonra ağırlık güncelleme parametresi hesaplanarak sonraki iterasyon için ağırlık dağılımı güncellenir. Tüm bu adımlar  $T$  iterasyon sayısı kadar tekrarlandıktan sonra sonuç hipotezi zayıf hipotezlerin ağırlıklı oyu olarak (16) eşitliğindeki gibi döndürülür.

$$H(x) = \underset{y \in Y}{\operatorname{argmax}} \sum_{t=1}^T h_t(x, y) \log \frac{1}{\alpha_t} \quad (16)$$

### 2.5.5. Dengelenmiş Torbalama Sınıflandırıcısı

Torbalama yöntemi farklı yeniden örneklenmiş verilerden oluşturulmuş sınıflandırıcı oylarını birleştiren bir yaklaşımdır. Yeniden örneklenmiş veriler, orjinal eğitim veri kümesinden yer değiştirme tekniği ile birlikte oluşturulmuş örnekleme yoluyla elde edilir. Her örnek orijinal küme ile aynı boyutta olmaktadır, fakat bazı örnekler yeniden örneklendirilmiş veri kümesinde yokken bazıları birden fazla kez bulunabilir.

Algoritma,  $N$  örnekten oluşan bir  $D$  eğitim veri kümesi,  $k$  adet sınıflandırıcı ve bir öğrenme algoritması verildiğinde öncelikle  $D$  eğitim verisinden  $N$  boyutlu  $k$  yeniden örneklenmiş verileri oluşturmaktadır. Ardından, aynı öğrenme algoritması her bir alt örnek kümesine uygulanarak  $C_i$  sınıflandırıcıları oluşturulur ve sonuç topluluğunu oluşturmak için bu sınıflandırıcılar birleştirilir. Sınıflandırıcı sonucu çoğunluk oylamasına göre karar verilmektedir.

Dengelenmiş Torbalama sınıflandırıcısı, Torbalama algoritmasının ek bir dengeleme yaklaşımıyla birleştirilmiş halidir. Dengeleme yaklaşımı olarak, hedef sınıfı yeniden örnekleme için azınlık olan sınıf belirlenerek tüm sınıflar yeniden örneklenirken azınlık olan sınıfta yeniden örnekleme gerçekleştirilmemiştir.

### 2.5.6. Dengelenmiş Rastgele Orman Sınıflandırıcısı

Rastgele Orman ağaç sınıflandırıcısı topluluğundan oluşan bir topluluk öğrenme yaklaşımıdır. Rastgelelik özelliği eklenerek Torbalama yönteminin geliştirilmiş bir versiyonudur. Veri seti Torbalama yönteminde olduğu gibi orjinal veri kümesinden yer değiştirme tekniği ile üretilir ve her bir düğümde rastgele seçilen değişkenler kullanılarak ağaçlar oluşturulur. Tahmin topluluğun tahminlerinin çoğunluk oylaması şeklinde birleştirilmesiyle gerçekleştirilir.

Ağaç sayısı  $N$  ve her bir düğümü bölmek için kullanılan değişken sayısı  $m$ , bu yöntemde kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır.  $N$  adet önyükleme örneği, eğitim veri setinden rastgele seçilir. Önyükleme örneklemede, var olan veri kümesinden rastgele örnekleme ile değiştirilerek yeni bir veri kümesi oluşturulur. Önyükleme örneklerinin büyük bir kısmı ağacı oluşturmak için, yani in-bag veriler, geri kalanı ise out-of-bag (OOB) verileri olarak adlandırılan, ağacın hatasını tahmin etmek için kullanılır. Bu veriler sırasıyla eğitim veri setinin üçte ikisine ve üçte birine karşılık gelirler. In-bag veriler seçildikten sonra ağaç, CART algoritması kullanılarak oluşturulur. Ağacın her bir düğümü için, bilgi kazancı kullanılarak  $m$  öznelikleri arasında en iyi bölünme seçilir. Bölünmenin hangi değişkene göre yapılacağına karar verildikten sonra söz konusu değişkenin Gini indeksi hesaplanır. Alt düğümün Gini indeksi bir üst düğümün Gini indeksinden daha az olduğunda o dal başarılı sayılmakta ve Gini indeksi sıfıra ulaştıkça ağaç dallanma işlemi sonlanmaktadır. Önerilen  $m$  değeri toplam öznelik sayısının kareköküne eşit olduğunda genel olarak optimum sonuca ulaşılmaktadır. OOB hatasına göre, en fazla OOB hatası veren ağaç en az ağırlık değerine sahip olacak şekilde, oluşturulan ağaca bir ağırlık değeri atanır. Test verilerini sınıflandırırken, her ağaç kendi uç düğümlerinde bir oy verir ve çoğunluk oylamasına göre bir sınıf tahmini yapılır.

Dengelenmiş rastgele orman sınıflandırıcısı yönteminde rastgele ormandaki her yineleme için azınlık sınıftan tüm örnekler alınırken çoğunluk sınıftan aynı sayıda rastgele alt örnekler alınmaktadır (Chen ve ark., 2004). Herhangi bir budama işlemi yapmadan maksimum boyutta bir ağaç oluşturulur ve her düğümde, optimal bölünme için tüm değişkenler arasında arama yapmak yerine rastgele olarak seçilmiş bir dizi değişkenden arama yapılır. Bu iki adım istenilen sayıda tekrarlanır ve topluluğun tahminleri toplanarak son sınıf tahmin yapılmış olmaktadır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada dengesiz melanom veri setinin topluluk öğrenme yöntemleriyle sınıflandırılması amaçlanmıştır. ISIC 2017 Görev 3 için yayımlanmış veri kümesindeki görüntüler şekil, renk ve doku öznelikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında kodlar Python programlama dili kullanılarak yazılmıştır.

### 3.1. Parametre Analizi

Sınıflandırıcılarda kullanılan parametreler ve parametrelerin değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Kolay topluluk sınıflandırıcısında temel sınıflandırıcı olarak AdaBoost, RUSBoost ve Dengelenmiş Torbalama sınıflandırıcılarında ise Gradyan Arttırma kullanılmıştır. Seçilen tüm parametreler en yüksek doğruluğu verecek şekilde deneysel olarak seçilmiştir.

**Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan sınıflandırıcı yöntemlerine ait parametreler ve değerleri**

Yöntem	Parametreler
$k$ -NN	$k=2$ , uzaklık metriği=öklid
DVM	$c=0.8$ , sınıf ağırlığı= dengeli
Kolay Topluluk	Öğrenenlerin sayısı=200
AdaBoost	Öğrenme oranı=0.2, maksimum tahmin edici sayısı=200
RUSBoost	Öğrenme oranı=0.2
Gradyan Arttırma	Öğrenme oranı=0.2, maksimum derinlik=3, güçlendirme aşama sayısı=200
Dengelenmiş Torbalama	Öğrenenlerin sayısı=200
Gradyan Arttırma	Öğrenme oranı=0.2, güçlendirme aşaması s.=200, maksimum derinlik=1
Dengelenmiş Rastgele Orman	Ormandaki ağaç sayısı=705, sınıf ağırlığı= dengeli

$k$ -NN için  $k=2$  değeri seçilmiştir ve öklid uzaklık metriği kullanılmıştır. Veri seti dengesiz olarak dağıldığı için DVM yönteminde sınıf ağırlığı, sınıf frekanslarıyla ters orantılı olacak şekilde dengeli olarak ayarlanmıştır. C parametresi ise 0.8 olarak seçilmiştir. Kolay Topluluk Sınıflandırıcısında temel öğrenici olarak AdaBoost kullanılmıştır ve öğrenenlerin sayısı 200 olarak belirlenmiştir. AdaBoost’un öğrenme oranı 0.2 ve yükseltmenin sonlandığı maksimum tahmin edici sayısı 200’dir. RUSBoost Sınıflandırıcısında temel öğrenici Gradyan Arttırma ve öğrenme oranı 0.2 olarak belirlenmiştir. Gradyan Arttırma için öğrenme oranı 0.2, güçlendirme aşamalarının sayısı 200 ve tahmincilerin maksimum derinliği ise 3 seçilmiştir. Dengelenmiş Torbalama Sınıflandırıcısında öğrenenlerin sayısı 200 ve temel öğrenici Gradyan Arttırma olarak seçilmiştir. Gradyan Arttırma için öğrenme oranı 0.2, güçlendirme aşamalarının sayısı 200 ve tahmincilerin maksimum derinliği ise 1 seçilmiştir. Dengelenmiş Rastgele Orman Sınıflandırıcısı için ormandaki ağaç sayısı 705, sınıf ağırlığı dengeli olarak ayarlanmıştır. Seçilen tüm parametreler en yüksek doğruluğu verecek şekilde deneysel bir şekilde seçilmiştir.

### 3.2. Model Performans Ölçütleri

Önerilen çalışmanın performansını nicel olarak değerlendirmek için duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve dengeli doğruluk ölçütleri kullanılmıştır. Duyarlılık, sistemin melanom sınıfını doğru bir şekilde sınıflandırmasını ifade ederken özgüllük, nevüs ve seboreik keratoz sınıfını doğru sınıflandırma ölçüsünü göstermektedir. Doğruluk ise melanom ile nevüs ve seboreik keratoz

arasındaki ayırımın ölçüsüdür. Duyarlılık, özgüllük ve doğruluk, dengeli doğruluk gibi performans ölçütleri sırasıyla (17)-(20)'de hesaplanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (17)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (18)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+YP+YN+DN} \quad (19)$$

$$\text{Dengeli Doğruluk} = \frac{(\text{Duyarlılık}+\text{Özgüllük})}{2} \quad (20)$$

Ölçütlerde DP, melanom sınıfına dahil olup melanom olarak algılanan örnek sayısını; YP, nevüs ve seboreik keratoz sınıfına dahil olup melanom olarak algılanan örnek sayısını; DN, nevüs ve seboreik keratoz sınıfına dahil olup nevüs ve seboreik keratoz olarak algılanan örnek sayısını; YN ise melanom sınıfına dahil olup nevüs ve seboreik keratoz olarak algılanan örnek sayısını ifade etmektedir.

### 3.3. Sayısal Karşılaştırma

Bu çalışmada melanom ile nevüs ve seboreik keratoz lezyonları şekil, renk ve doku öznelikleri kullanılarak geleneksel makine öğrenmesi ve topluluk yaklaşımları ile sınıflandırılmıştır. Elde edilen test sınıflandırma sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Sınıflandırma Sonuçları

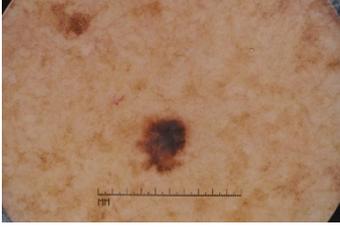
Sınıflandırma Yöntemi	Duyarlılık	Özgüllük	Doğruluk	Dengeli Doğruluk
<i>k</i> -NN	%25.64	%79.99	%69.33	%52.77
DVM	%51.28	%51.12	%51.15	%51.21
Kolay Topluluk	%76.06	%58.38	%61.83	%67.22
RUSBoost	<b>%100</b>	<b>%99.17</b>	<b>%99.33</b>	<b>%99.58</b>
Dengelenmiş Torbalama	%68.37	%67.08	%67.33	%67.72
Dengelenmiş Rastgele Orman	%65.10	%65.42	%64.16	%64.76

Geleneksel makine öğrenmesi yaklaşımlarından *k*-NN yöntemi ile %25.64 duyarlılık ve %79.99 özgüllük elde edilirken DVM yöntemiyle duyarlılığın %51.28'e yükseldiği ve özgüllüğün %51.12'ye düştüğü görülmektedir. Dengesiz veri kümelerinde sınıflandırıcı performansını incelemek için dengeli doğruluk metriği daha doğru ve kıyaslanabilir sonuçlar göstermektedir. Dengeli doğruluk değerine bakıldığında iki yöntemin de yaklaşık %52'lik bir başarıya sahip olduğu görülmektedir.

Dengesiz veri kümelerini farklı tekniklerle dengeleyen topluluk sınıflandırıcı sonuçları incelendiğinde %65.10 ile %100 duyarlılık, %58.38 ile %99.17 özgüllük, %61.83 ile %99.33

doğruluk ve %64.76 ile %99.58 dengeli doğruluk değeri hesaplanmıştır. Geleneksel makine öğrenmesi yaklaşımları ile kıyaslandığında elde edilen sonuçların genel olarak daha başarılı olduğu görülmektedir. Topluluk yöntemleri tabanlı sonuçlara göre %64.76 dengeli doğruluğu ile en düşük sınıflandırma doğruluğu Dengelenmiş Rastgele Orman yöntemi ile elde edilirken %99.58 dengeli doğruluğu ile en yüksek sınıflandırma doğruluğu RUSBoost yöntemi ile elde edilmiştir. Bazı örnek test görüntüleri için sınıflandırma sonucunda elde edilen sınıf etiketleri ile gerçek etiketlerin karşılaştırma sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Örnek Test Görüntülerinin Tahmin Edilen Sınıf Etiketleri ile Gerçek Etiketleri

Test Görüntüleri	Tahmin Edilen Sınıf Etiketleri	Gerçek Etiket
	<p><b>k-NN:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>DVM:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Kolay Topluluk:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>RUSBoost:</b> melanom  <b>Dengelenmiş Torbalama:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Dengelenmiş Rastgele Orman:</b> nevüs veya seboreik keratoz</p>	Melanom
	<p><b>k-NN:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>DVM:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Kolay Topluluk:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>RUSBoost:</b> melanom  <b>Dengelenmiş Torbalama:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Dengelenmiş Rastgele Orman:</b> nevüs veya seboreik keratoz</p>	Melanom
	<p><b>k-NN:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>DVM:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Kolay Topluluk:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>RUSBoost:</b> melanom  <b>Dengelenmiş Torbalama:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Dengelenmiş Rastgele Orman:</b> nevüs veya seboreik keratoz</p>	Melanom
	<p><b>k-NN:</b> melanom  <b>DVM:</b> melanom  <b>Kolay Topluluk:</b> melanom  <b>RUSBoost:</b> nevüs veya seboreik keratoz  <b>Dengelenmiş Torbalama:</b> melanom  <b>Dengelenmiş Rastgele Orman:</b> melanom</p>	Nevüs veya seboreik keratoz

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada cilt lezyon görüntülerinden şekil, renk ve doku öznelikleri çıkartılarak görüntüler melanom ya da nevüs ve seboreik keratoz olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma

işlemleri  $k$ -en yakın komşuluk, destek vektör makineleri ve topluluk öğrenme yöntemlerinden kolay topluluk, RUSBoost, dengelenmiş torbalama ve dengelenmiş rastgele orman sınıflandırıcıları ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara ve diğer sınıflandırıcılarla yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre en yüksek %100 duyarlılık, %99.17 özgüllük, %99.33 doğruluk ve %99.58 dengeli doğruluk RUSBoost sınıflandırıcısı ile hesaplanmıştır. Ayrıca önerilen yöntem ISIC 2017 dengesiz veri kümesi üzerinde uygulanıp test edildiğinden geleneksel makine öğrenmesi yaklaşımlarından olan  $k$ -NN ve DVM'nin performansının %25 ile %52 değerleri arasında kaldığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, topluluk öğrenmesi tabanlı dengelenmiş yaklaşımların performansı %58-%100 arasında hesaplanmıştır. Bu sonuçlar geleneksel makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla dengelenmiş topluluk öğrenmesi yaklaşımlarının sınıflandırma performansı arasında dikkat çekici bir fark olduğunu göstermektedir.

Sonuçların başarısını analiz etmek için farklı yöntemler ile elde edilen sınıflandırma doğrulukları yine ISIC 2017 veri kümesi kullanılarak yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te yer alan “-” simgesi çalışmalarda bildirilmemiş sonuçları göstermektedir. Çalışmaları kısaca özetlemek gerekirse:

Thao ve ark., ISIC 2017 veri kümesindeki 2000 eğitim görüntüsünü döndürme, yakınlaştırma gibi farklı veri arttırma yöntemleriyle 6000 görüntüye çıkarmışlardır. Oluşan yeni görüntüleri 5400 eğitim ve 600 doğrulama olarak ayırmışlardır. Verileri 18 katmandan oluşan basit ConvNet mimarisi ve transfer öğrenimi kullanan VGG16 ile sınıflandırmışlardır. Her bir model performans ölçütü için sınıflandırma sonuçlarının ortalaması alınarak nihai sonuçlar elde edilmiştir. Li ve ark., 2000 lezyon eğitim görüntülerini  $x$  veya  $y$  ekseninde döndürerek eğitim verilerini arttırmışlardır. Lezyonların segmentasyonunu ve sınıflandırması aynı anda gerçekleştirmek için lezyon indeksleme ağını önermişlerdir. Bu ağ FCRN-50 ağına eklenen artık modülde yeni bir artık modülü kullanan daha derin bir model olan FCRN-88'tir. Önerdikleri ağ modeli 3 farklı deri lezyonu görüntü işleme görevini yerine getirerek %49 oranında duyarlılık değeri elde etmiştir. Khouloud ve ark., eğitim veri kümesindeki görüntülere ilk olarak Gauss filtresi uygulamışlardır, daha sonra görüntülerin lezyon alanlarını kırpılmışlardır ve görüntüleri 180x180 olarak yeniden boyutlandırmışlardır. W-Net ağı ile segmente edilen görüntüler daha sonra Inception-ResNet ağı ile sınıflandırılmış ve %95.2 oranında bir duyarlılık değeri elde etmişlerdir. Yılmaz ve ark., hesaplama karmaşıklığını gidermek için ISIC 2017 veri kümesindeki görüntüleri 224x224 boyutuna yeniden boyutlandırmışlardır ve veri arttırma yöntemi uygulamışlardır. MobileNet, MobilNetV2 ve NasNetMobile mimarileri yığın boyutları 16, 32 ve 64 olacak şekilde kullanılıp eğitilmiş ve 9 model ortaya çıkarmışlardır. En yüksek doğruluğu NasNetMobile modeli ile %82.0 oranında elde etmişlerdir.

**Tablo 4.** Sınıflandırma Karşılaştırması

Sınıflandırma Yöntemi	Duyarlılık	Özgüllük	Doğruluk	Dengeli Doğruluk
(Thao ve ark., 2017)	%86.9	%44.2	%51.5	-
(Li ve ark., 2018)	%49.0	%96.1	%85.7	-
(Khoulood ve ark., 2021)	%95.2	%97.9	%96.9	-
(Yılmaz ve ark., 2021)	-	-	%82.0	-
<b>RUSBoost</b>	<b>%100</b>	<b>%99.17</b>	<b>%99.33</b>	<b>%99.58</b>

Önerilen dengesiz veri kümelerinde topluluk yöntemlerine dayalı sınıflandırma yaklaşımının literatürdeki çalışmalara kıyasla daha yüksek duyarlılık, özgüllük ve doğruluk değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak, önerilen yaklaşımın melanom ve nevüs ve seboreik keratoz sınıflandırmasında başarılı bir şekilde uygulanabileceği düşünülmektedir.

### Teşekkür

Bu kısımda çalışmada yardımları ya da destekleri bulunan kişi veya kişilere ya da kurumlara teşekkür edilebilir.

### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Bangare, S. L., Dubal, A., Bangare, P. S. ve Patil, S. T. (2015). Reviewing Otsu's Method for Image Thresholding. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(9), 21777-21783.
- Binder, M., Schwarz, M., Winkler, A., Steiner, A., Kaider, A., Wolff, K. ve Pehamberger, H. (1995). Epiluminescence Microscopy: A Useful Tool for The Diagnosis of Pigmented Skin Lesions for Formally Trained Dermatologists. *Archives of Dermatology*, 131(3), 286-291.
- Breiman, L. (1996). Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Celebi, M. E., Kingravi, H. A., Uddin, B., Iyatomi, H., Aslandogan, Y. A., Stoecker, W. V. ve Moss, R. H. (2007). A Methodological Approach to The Classification of Dermoscopy Images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 31(6), 362-373.



- Celebi, M. E., Iyatomi, H., Stoecker, W. V., Moss, R. H., Rabinovitz, H. S., Argenziano, G. ve Soyer, H. P. (2008). Automatic Detection of Blue-White Veil and Related Structures in Dermoscopy Images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 32(8), 670-677.
- Celebi, M. E., Codella, N. ve Halpern, A. (2019). Dermoscopy Image Analysis: Overview and Future Directions. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 23(2), 474-478.
- Chang, W. Y., Huang, A., Yang, C. Y., Lee, C. H., Chen, Y. C., Wu, T. Y. ve Chen, G. S. (2013). Computer-Aided Diagnosis of Skin Lesions Using Conventional Digital Photography: A Reliability and Feasibility Study. *PloS one*, 8(11), e76212.
- Chen, C., Liaw, A. ve Breiman, L. (2004). Using Random Forest to Learn Imbalanced Data. *Technical Report, Berkeley*.
- Cortes, C. ve Vapnik, V. (1995). Support Vector Machines. *Machine Learning*, 20, 273-297.
- Ganster, H., Pinz, P., Rohrer, R., Wildling, E., Binder, M. ve Kittler, H. (2001). Automated Melanoma Recognition. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 20(3), 233-239.
- Goodson, A. G. ve Grossman, D. (2009). Strategies for Early Melanoma Detection: Approaches to The Patient with Nevi. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 60(5), 719-735.
- Khoulood, S., Ahlem, M., Fadel, T., & Amel, S. (2022). W-net and inception residual network for skin lesion segmentation and classification. *Applied Intelligence*, 52(4), 3976-3994.
- Lee, T., Ng, V., Gallagher, R., Coldman, A. ve McLean, D. (1997). Dullrazor®: A Software Approach to Hair Removal from Images. *Computers in Biology and Medicine*, 27(6), 533-543.
- Li, Y. ve Shen, L. (2018). Skin Lesion Analysis Towards Melanoma Detection using Deep Learning Network. *Sensors*, 18(2), 556.
- Liu, X. Y., Wu, J. ve Zhou, Z. H. (2008). Exploratory Undersampling for Class-Imbalance Learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 39(2), 539-550.
- Messadi, M., Bessaid, A. ve Taleb-Ahmed, A. (2009). Extraction of Specific Parameters for Skin Tumour Classification. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 33(4), 288-295.
- Okur, E. Ve Turkan, M. (2018). A Survey on Automated Melanoma Detection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 73, 50-67.
- Schapire, R. E. (1999, Temmuz). A Brief Introduction to Boosting. International Joint Conference on Artificial Intelligence (s. 1401-1406). Stockholm, İsveç.
- Seiffert, C., Khoshgoftaar, T. M., Van Hulse, J. ve Napolitano, A. (2009). RUSBoost: A Hybrid Approach to Alleviating Class Imbalance. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 40(1), 185-197.
- Sheha, M. A., Mabrouk, M. S. ve Sharawy, A. (2012). Automatic Detection of Melanoma Skin Cancer Using Texture Analysis. *International Journal of Computer Applications*, 42(20), 22-26.
- Silveira, M., Nascimento, J. C., Marques, J. S., Marçal, A. R., Mendonça, T., Yamauchi, S., Maeda, J. ve Rozeira, J. (2009). Comparison of Segmentation Methods for Melanoma Diagnosis in Dermoscopy Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 3(1), 35-45.
- Thao, L.T., ve Quang, N.H. (2017). Automatic Skin Lesion Analysis Towards Melanoma Detection. 21st Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (s.106-111). Hanoi, Vietnam.
- Tsao, H., Olazagasti, J. M., Cordero, K. M., Brewer, J. D., Taylor, S. C., Bordeaux, J. S., Chren, M. -M., Sober, A. J., Tegeler, C., Bhushan, R. ve Begolka, W. S. (2015). Early Detection of Melanoma: Reviewing The ABCDEs. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 72(4), 717-723.
- Yılmaz, A., Kalebaşı, M., Samoylenko, Y., Güvenilir, M. E. ve Uvet, H. (2021). Benchmarking of Lightweight Deep Learning Architectures for Skin Cancer Classification using ISIC 2017 Dataset. arXiv preprint , vol.1, no.1, 1-2.

ISIC: <https://challenge.isicarchive.com/>, (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2022).

ISIC2017: <https://challenge.isic-archive.com/landing/2017/44/>, (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2022).

WHO: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>, (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2022).

SCF: <https://www.skincancer.org/>, (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2022).

CDC: <https://www.cdc.gov/cancer/skin/>, (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2022).

# KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## YAZIM KURALLARI

Özet kısmında çalışmanın yenilikleri ve temel bulguları vurgulanmalıdır. Türkçe ve İngilizce özet kısımları Times New Roman yazı tipi ile yazılmalıdır ve 10 punto büyüklüğü seçilmelidir. Özet kısmının yazımında tek satır aralığı seçilmelidir. Makale özetinin en fazla 200 kelime olmasına dikkat edilmelidir. Türkçe ve İngilizce özetlerin 1 (bir) sayfayı geçmemesi önerilmektedir. Anahtar kelime sayısı en az 3 en fazla 6 olmalıdır.

Makalenin sayfa yapısı A4 kağıt boyutuna ve tüm kenar boşlukları 2 cm olmalıdır. Hem Türkçe hem de İngilizce başlıklar makale konusuna uygun, amacı ve sonucu anlatan, kısa ve yalın olmalıdır. Makale başlığı koyu, ilk harfleri büyük ve ortalanarak 14 punto Times New Roman fontu ile yazılmalıdır. Türkçe makalelerde İngilizce başlık, İngilizce özetten önce verilmelidir. Yazar isimleri kısaltılmadan soy isimler büyük harfle başlığın altına yan yana ortalanarak yazılır. Adreslerde kısaltma kullanılmamalıdır. Farklı adreslere sahip yazarlar için rakamlı üst indis kullanılmalıdır. İsimler Times New Roman 12 punto, düz; adresler ise Times New Roman 10 punto, düz olmalıdır. İsimlerden önce Ünvan yazılmamalıdır. Ayrıca sorumlu yazarın e-posta adresi 10 punto Times New Roman fontunda Sorumlu Yazar kısmına yazılmalıdır.

Ana metin 12 punto yazı büyüklüğünde Times New Roman yazı tipi ile 1,5 satır aralığında ve her iki yana yaslı şekilde yazılmalıdır. Ana bölüm başlıkları numaralandırılmalı, kelimelerin ilk harfleri büyük olmalı ve **koyu (bold)** karakterde yazılmalıdır. Ana bölüm başlığından sonra 1,5 satır aralıklı bir satır boşluk bırakılarak metne geçilmelidir. Başlıkla üst metin arasında da bir satır boşluk bırakılmalıdır. Paragraflar 1 cm içeriden başlamalıdır. Paragraflar arasında boşluk bırakılmamalıdır.

Bu bölümde çalışmayla ilgili yeterli literatür taraması verilmeli, çalışmanın amaçları ve literatürdeki yeri vurgulanmalıdır. Detaylı literatür incelemesinden ve sonuçların özetinin verilmesinden kaçınılmalıdır.

Materyal ve Metot bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve metotlar detaylı ve açık bir şekilde anlatılmalıdır.

Şekiller grafik, diyagram fotoğraf, resim, harita olabilir. Şekil yazısı şeklin alt kısmına yazılmalıdır. Hem şekil hem de şekil yazısı sayfaya ortalanmalıdır. Şekil yazılar okunaklı olmalıdır. Şekil ile üst metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Şekil yazısı ile alt metin arasında da 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Şekil yazısı 11 punto ve tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Şekil yazılarına atıfta bulunulmalıdır.

Tablolar açık çerçeveli tercih edilebilir. Tablo yazısı tablonun üst kısmına yazılmalıdır. Hem tablo hem de tablo yazısı sayfanın soluna hizalanmalıdır. Tablo yazısı ile üst metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo ile alt metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo yazıları tercihen

11 punto ile ya da 10 punto ile yazılmalıdır ve tek satır aralığı seçilmelidir. Tablo yazılarına atıfta bulunulmalıdır.

Denklem ekleme ihtiyacı duyulduğunda denklemler sırasıyla 1'den başlanarak numaralandırılmalıdır. Denklem paragraftan başlanarak yazılır. Denklem numarası sağ kenara yerleştirilmelidir. Denklem ile metin arasında üstten ve alttan bir satır boşluk bırakılır. Denklemler resim formatında olmamalıdır.

Bulgular ve Tartışma bölümünde çalışma sonucunda elde edilen bulgular verilmelidir. Elde edilen bulgular ile ilgili literatür çalışmaları yapılarak karşılaştırmalar yapılabilir.

Sonuçlar ve Öneriler bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmelidir. Okuyucular için öneriler ve görüşler belirtilebilir.

Teşekkür kısmında çalışmada yardımcıları ya da destekleri bulunan kişi veya kişilere ya da kurumlara teşekkür edilebilir.

Yazarların makaleye olan katkıları belirtilmelidir. (Örneğin: Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.), (Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.), (Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.)

Kaynaklar 11 punto yazı büyüklüğünde Times New Roman yazı tipi ile tek satır aralığında yazılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadına göre (alfabetik sıralama) dizini hazırlanmalıdır ve sayfanın sol kenar boşluğu hizasından başlanarak yazılmalıdır. Metin içindeki literatür açıklamaları soyadı ve tarih verilmek suretiyle (Soyadı, 2017), (Soyadı ve Soyadı, 2017) şeklinde düzenlenmelidir. İki'den fazla yazar olması durumunda birinci yazardan sonra "ark." kısaltılması yapılmalıdır (Soyadı ve ark., 2017). Birden fazla kaynak belirtilmek istendiğinde bunlar noktalı virgül ile ayrılmalıdır (Soyadı, 2017; Soyadı ve Soyadı, 2017). Kaynaklar APA formatından esinlenerek hazırlanmıştır.

#### **Periyodik yayınlar:**

Soyadı, A., Soyadı, B. B. ve Soyadı, C., (2017). Yayınlanan Makalenin Adı. *Makalenin Yayınlandığı Dergi Adı*, 7(1), 1-12.

#### **Kitaplar:**

Soyadı, A. A., (2017). *Kitap adı*. Kitabın basıldığı yer: Yayınevi.

#### **Sempozyum, Kongre, Bildiri:**

Soyadı, A., Soyadı, B. B. ve Soyadı, C., (2017, Ay). Yayınlanan Bildirinin Adı. *Bildirinin Yayınlandığı Sempozyum, Kongre, Toplantı ya da Konferans Adı* (s. 1-12). Şehir: Varsa Üniversite veya Kuruluş.

#### **Tez:**

Soyadı, A. A., (2017). *Yüksek Lisans veya Doktora Tezinin Adı*. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.

#### **Diğer Kaynaklar:**

Hallam, A. Duality in consumer theory [PDF document]. Retrieved from Lecture Notes Online Web site: <http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/index.html>  
URL-1: <http://www.giresun.edu.tr>, (Erişim Tarihi: 22 Mart 2017).

# THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES

## AUTHOR GUIDELINES

The abstract section should highlight the research in question's novelties and fundamental findings. Both the Turkish and English versions of the abstracts should be single spaced, and should be written in Times New Roman with a 10 pt font size. Abstracts should be no more than 200 words in length. Both versions of the abstract together should not exceed one (1) page in length. Number of keywords should be no less than 3, and no more than 6.

The page structure of the paper should be A4 size (210x297mm) and all margins should be 2 cm. Both Turkish and English titles should be appropriate for the topic of the paper, should describe the purpose of the paper and its conclusion and should be short and simple. The title of the paper should be in bold, with initials large and centered and 14 pt Times New Roman font. The Turkish title in the English papers should be given before the Turkish abstract. Author names are written side by side under the heading, without abbreviation (surnames in capital letters). Abbreviations should not be used in addresses. Numerical overhead indices should be used for authors with different addresses. Names of the authors should be Times New Roman 12 pt. and addresses should be Times New Roman 10 pt and flat. Appellations should not be written before names. In addition, the corresponding author's e-mail address should be written in 10 pt Times New Roman font in Corresponding Author.

The main text should be typed in Times New Roman font with a font size of 12 pt and lines spacing of 1.5. Main headings should be numbered and written in bold, and the initial letter of each word within the heading should be capitalized. A single 1.5-sized line spacing should be left underneath each main heading. A single line spacing should also be left between the heading and the text preceding it. Paragraphs should be indented by 1 cm. Spacing should not be left between paragraphs.

An adequate number of academic/scientific literature relating to the research in question, as well the overall aims of the research should be provided and emphasized within this section. Here, one should avoid detailed examining the literature as well as should avoid summarizing any results.

Materials and methodology used in the conducting of the research need to be described in detail in this section.

Figures can entail graphics, diagrams, photographs, illustrations, and/or maps. Figure descriptions should be written at the bottom of or below the figure(s), and should be legible. A single line space should be left between the figure and the text preceding it. Figure descriptions should be typed in a point-size of 11, as well as should be referenced.

Tables preferably should be open framed. Table descriptions should be written at the top of or above table. Both the table and the table description should be aligned on the left of the page. A single line space should be left between the table and the text preceding it. Table descriptions preferably should be single-spaced and written in either 11 or 10 pt. font, as well as should be referenced.

Equations—where needed—should be numbered from 1 and onwards. Equations are written starting with/following the paragraph. The equation number should be placed on the right edge. A single line spacing should be left between the equation and both the preceding as well as subsequent text. Equations should not be presented in the format of an image.

In Findings and Discussion Section, the results of as well as the findings obtained from the research in question are provided in this section. Here, one can compare and contrast the obtained findings with other relevant academic/scientific literature.

The conclusions of the results obtained from the research in question are given in this section. Here, one can provide readers with suggestions and personal comments.

Acknowledgements section is where one can acknowledge and thank the individuals and/or institutions who helped with and supported the author(s) with her/his/their research.

Contribution of the authors to the article should be indicated. (For example: All authors contributed equally to the study.), (There is no conflict of interest between the authors.), (The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.)

The references should be typed in Times New Roman font with a size of 11 pt font in single line spacing. Bibliographic resources should be arranged in alphabetical order according to the surname(s) of the author(s), and should be written starting from the left corner margin of the page. References to citations within the text should include the author's surname and the year of publication in parenthesis: (Surname, 2017), (Surname and Surname, 2017). In situations whereby a citation reference involves more than two authors, the abbreviation "et al." is to be written after the first author's surname: (Surname et al., 2017). In case of citing more than one resource, surnames and dates are to be separated using semicolons: (Surname, 2017; Surname and Surname, 2017). References should be prepared according to APA (American Psychological Association) Style format.

#### **Periodicals:**

Surname, A., Surname, B. B., and Surname, C., (2017). Title of the Published Paper. *Name of the Journal that the Paper is Featured/Published in*, 7(1), 1-12.

#### **Books:**

Surname, A. A., (2017). *Book title*. Location of where the book was published: Publisher.

#### **Symposiums, Congresses, Presentations:**

Surname, A., Surname, B. B., and Surname, C., (2017, Month). Title of the Published Presentation. *Name of the Symposium, Congress, Meeting or Conference that the Presentation was delivered at*. (pp. 1-12). City: University or Institution (If available).

**Theses and Dissertations:**

Surname, A. A., (2017). *Title of the Graduate or Doctoral Thesis/Dissertations*. Graduate Thesis, Giresun University, Institute of Natural Sciences, Giresun.

**Other Resources:**

Hallam, A. Duality in consumer theory [PDF document]. Retrieved from Lecture Notes Online Web site:  
<http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/index.html>

URL-1: <http://www.giresun.edu.tr>, (Date Accessed: 22 Mart 2017).

# KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayımlanan hakemli akademik bir dergidir.

Gönderilecek eserlerde; alanında bir boşluğu dolduracak özgün bir araştırma makalesi olması şartı aranır.

Dergimizde hakemlerin ve yazarların birbirlerine karşı kimliklerinin gizli tutulduğu çift taraflı kör hakem sistemi kullanılır. Yazarlar ve hakemler, kimliklerinin gizli kalması için gayret göstermelidir. Bu amaçla sisteme dosya gönderen yazar, editör, hakem gibi kişilerin metin ve dosyaları sisteme yüklerken dikkat etmeleri gerekir.

Yayın Kurulu, dergiye gönderilen eserlerin öncelikle yayın ilkeleri ile dergi kapsamı, bilimsel içerik ve şekil açısından inceler. Ön incelemeden geçen eserler değerlendirilmesi amacıyla en az 2 hakeme gönderilir. Eserin dergiye kabul edilebilmesi için 2 hakemden de olumlu değerlendirme alması gerekir. Gerektiği durumlarda 3. hakemden de değerlendirme sürecine katkı sağlaması istenebilir. Son karar editöre aittir.

Yayımlanmak üzere gönderilen makaleler ayrıca intihal tespitinde kullanılan özel bir program aracılığıyla makalelerin daha önce yayımlanmamış olduğu ve intihal içermediği teyit edilir.

Kabul edilen eserin yayımlanma süreci, eserin alındığı tarihten itibaren 2-6 ay sürmektedir.

Dergiye makale gönderimi ücretsizdir. Yayına kabul edilen makaleden de hiçbir ücret talep edilmez.

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, hakemli ve açık erişim politikasını benimsemiş bir dergidir. Bu bağlamda, Budapeşte Açık Erişim Hareketine (BOAI) taraftır. BOAI'ye göre Açık Erişim, "hakem değerlendirmesinden geçmiş bilimsel literatürün, internet aracılığıyla; finansal, yasal ve teknik engeller olmaksızın, serbestçe erişilebilir, okunabilir, indirilebilir, kopyalanabilir, dağıtılabilir, basılabilir, taranabilir, tam metinlere bağlantı verilebilir, dizinlenebilir, yazılıma veri olarak aktarılabilir ve her türlü yasal amaç için kullanılabilir olması"dır.

Dergimize gönderilen akademik çalışmalardaki intihalleri tespit etmek amacıyla İntihal Tespit Programları kullanılır. Dergimize makale gönderen yazarlar etik ihlal yapmadıklarını beyan etmiş sayılırlar. İntihal yaptığı tespit edilen yazarların eserlerine dergimizde yer verilmez. Bu konuyla ilgili rapor yazara gönderilir.

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi yazarlardan makale değerlendirme ve yayın süreci için herhangi bir ücret talep etmemektedir.

Bu dergi, iştirak eden kütüphanelerin dağıtılan arşivleme sistemi yaratması amaçlı, kütüphanelerin koruma ve restorasyon amaçlı kalıcı arşivler yaratmasına izin vermek için LOCKSS sistemi kullanmaktadır.

Bu dergide makalelerini yayımlayan yazarlar aşağıdaki şartları kabul etmiş bulunmaktadır:

Yazar makale telif hakkını elinde tutar ve ilk yayımlama hakkını dergiye verir. Makale, yazarının belirtilmesi ve ilk yayımının bu dergide yapılması koşuluyla diğerleri tarafından paylaşılmasına olanak veren Creative Commons Attribution lisansı altında lisanslanır.

Yazar, makalenin dergide yayımlanmış versiyonunun tam yetki vermeden dağıtımını (örneğin, kurumsal bir veri bankasına gönderilmesi ya da bir kitapta yayımlanması) için ayrı sözleşme düzenlemeleri yapabilir.

Yazarların makalelerini dergiye göndermeden önce ya da gönderi süreci devam ederken internet üzerinden (örneğin, kurumsal veri tabanında ya da kendi web sitelerinde) paylaşımları teşvik edilir; bu, hem verimli fikir alışverişlerine hem de makalenin daha erken ve daha çok atıf almasına yol açabilir (bakınız Açık Erişimin Etkisi).

# THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES

## Ethical Principles and Publication Policy

The Black Sea Journal of Sciences is a peer-reviewed academic journal that is published biannually in June and December (June 15, December 15).

Prospective papers are expected to fill a gap in their respective field through innovative research.

Our journal employs a bilateral blind review system in which the personal identities of the reviewers and authors are kept confidential from one another, and whereby the parties involved are expected not to reveal themselves. With this objective in mind, parties submitting the file in question to the system such as the author, editor, and/or reviewer must handle the uploading of those files to the system with utmost care and attention.

The publishing team first examines (the) prospective papers in accordance with the criteria of the journal's scope, as well as for scientific content and format. After the pre-review step, the papers are forwarded to at least two reviewers for evaluation. In order for a paper to be accepted, it must receive positive evaluations from both reviewers. Papers can be requested to be reviewed again if needed and evaluation of a third reviewer should necessity warrant it. The final decision is made by the editor.

Papers that are to be submitted for publishing are first controlled using special detection software in order to verify that they have not been previously published elsewhere, as well as to ensure that they do not include any plagiarized content.

Publishing takes between 2 to 6 months from the acceptance date.

The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge.

The Black Sea Journal of Sciences is an open access journal which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking prior permission from the publisher or the author. This is in accordance with the BOAI definition of open access.

Academic research submitted to our journal is run through plagiarism detection software in order to check for any possible plagiarized content. Authors are expected as they declare that their work do not include any plagiarism. A report regarding this issue is sent to the authors.

The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge.

This journal makes use of the LOCKSS system, which allows participating libraries to create a distributed digital archiving system, as well as allowing libraries to develop permanent archives for the purposes of protection and restoration.

An author's paper is entitled to copyright protection, and is to give her/his copyright to the journal upon its first initial publishing. One's paper is licensed under the Creative Commons Attribution License, which enables it to be shared by others via permission from the author as well according to the terms and conditions laid out by this journal upon (the paper's) first initial publishing.

The author is entitled to have a separate contract drawn up in which allows for her/his paper as it is published in our journal to be distributed without providing full authorisation (e.g., a paper's being sent to the databank of an institution, or for its being published in a book, etc.)

Authors are encouraged to share their share their papers via the internet either before they submit their work to our journal or as they wait through the submission process (e.g., to an institutional database or via their own personal websites, etc.). In doing so, this allows both for a fruitful exchange of ideas and feedback, as well as allows for the paper to be earlier as well as more widely referenced (see: The Effects of Open Access).



# Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi (KFBD)

## The Black Sea Journal of Sciences

Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güre Kampüsü, GİRESUN  
Telefon: 0 454 310 10 87-88 Faks: 0 454 310 10 89 E-posta: kfbd@giresun.edu.tr  
ISSN: 2564-7377 (Online) <http://dergipark.gov.tr/kfbd>

### TELİF HAKKI DEVİR SÖZLEŞMESİ

**Makale Adı** :

**Makalenin yazarları** :

**Sorumlu Yazar;**

**Adı Soyadı** :

**Adresi** :

**T.C. Kimlik No** :

**E-posta** :

**Telefon** :

Sunulan makalenin sorumlu yazarı tüm yazarlar adına aşağıdaki konuları taahhüt eder:

- Bu makale tarafım(ız)dan yapılmış özgün bir çalışmadır ve makalede intihal yapılmamıştır.
- Bu çalışma için yazar(lar) her türlü sorumluluğa ortakdır.
- Bu makale başka bir yerde yayınlanmamıştır ve yayınlanmak üzere sunulmamıştır.
- Yazar(lar) makaleyi görmüş ve onaylamıştır.
- Makalede bulunan materyaller, diğer şahısların telif haklarını ihlal etmemektedir.
- Makale etik kurallara uygundur ve belirtilen materyaller ve yöntemler kullanıldığında herhangi bir zarara ve yaralanmaya neden olmayacaktır.
- Telif hakkı ihlali durumunda tüm sorumluluk yazar(lar)a aittir.

Yazar(lar) makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederler. Makalenin telif hakkı Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi'ne devredilmiştir.

Makalenin tüm yazarlarından makale ile ilgili tüm mali hakları Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi'ne devretme hususunda yetki aldığımı ve bu nedenle doğabilecek tüm uyuşmazlıklardan sorumlu olacağımı taahhüt ederim.

Makaleye ait tüm materyaller, bilim ve yayın kurulunca bir yıl süreyle saklanacak ve daha sonra imha edilecektir. Bu belge sorumlu yazar tarafından ıslak imza ile imzalanmalıdır.

**Sorumlu Yazar Adı Soyadı:**

**İmza / Tarih:**

# **Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi (KFBD)**

## **The Black Sea Journal of Sciences**

Giresun University Institute of Natural Sciences Güre Campus, GİRESUN  
**Phone:** 0 454 310 10 87-88 **Fax:** 0 454 310 10 89 **E-mail:** kfbd@giresun.edu.tr  
ISSN: 2564-7377 (Online) <http://dergipark.gov.tr/kfbd>

### **AGREEMENT FOR THE TRANSFER OF COPYRIGHT**

**Title of Paper** :

**Authors' Names** :

**Corresponding Author;**

**Full Name** :

**Address** :

**Identity Number** :

**E-mail** :

**Telephone** :

The corresponding author of the submitted manuscript undertakes on behalf of all authors for following issues:

- This manuscript is an original work done by us and is not plagiarized.
- The author(s) are responsible for all kinds of responsibilities for this study.
- This article has not been previously published and is not under consideration by another journal.
- The author(s) has seen and confirmed the article.
- The material contained in the article does not infringe the copyrights of other persons.
- The article is suitable for ethical rules. The use of the specified materials and methods will not cause any damage or injury.
- In the event of copyright infringement, all responsibility belongs to the author(s).

The authors agrees to disclaim the copyright of the article. The copyright of the manuscript has been transferred to The Black Sea Journal of Sciences.

I undertake to authorize from all authors of the article to transfer all financial rights related to the study to The Black Sea Journal of Sciences, and to be liable for all incidences arising from this.

All materials belonging to the study will be kept for one year at the time of the science and publishing committee and will be destroyed later. This document must be signed by the corresponding author with a wet signature.

**Corresponding Author Full Name:**

**Signature / Date:**