



**MUNZUR**  
ÜNİVERSİTESİ  
2008

ISSN: 2149-0910  
VOLUME: 8 ISSUE: 1  
YEAR:2022

# INTERNATIONAL JOURNAL OF **PURE AND APPLIED** **SCIENCES**

[www.munzur.edu.tr](http://www.munzur.edu.tr)



0428 213 17 94

[ijpas@munzur.edu.tr](mailto:ijpas@munzur.edu.tr)

MUNZUR UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES  
INTERNATIONAL JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES  
ISSN: 2149-0910

*IJPAS is a peer reviewed journal.*

*Published biannually.*

*<http://dergipark.gov.tr/ijpas>*

**Owner**

Prof. Dr. Ubeyde IPEK

*Rector*

**Editors**

Assoc. Prof. Dr. Murat KORUNUR, Munzur University, Tunceli, Turkey

*Institute of Graduate Studies*

*[mkorunur@munzur.edu.tr](mailto:mkorunur@munzur.edu.tr)*

Assist. Prof. Dr. Akar DOĞAN, Munzur University, Tunceli, Turkey

*[akardogan@munzur.edu.tr](mailto:akardogan@munzur.edu.tr)*

**Associate Editor**

Asst. Prof. Dr. Salih BAŞKUTLU, Munzur University, Tunceli, Turkey

*[salihbaskutlu@munzur.edu.tr](mailto:salihbaskutlu@munzur.edu.tr)*



This journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.  
This journal is covered by **TR Index, Eurasian Scientific Journal Index, COSMOS IF, Index Copernicus, Sparc Indexing, Scientific Indexing Services, DOAJ** database systems.

### **Editorial Board**

Prof. Dr. Ubeyde IPEK  
Prof. Dr. Ali Fuat GUNERI  
Prof. Dr. Hasan AKGUL  
Prof. Dr. Mustafa DORUCU  
Prof. Dr. Seyit Ahmet OYMAK  
Prof. Dr. Numan YILDIRIM  
Prof. Dr. Nuran CIKCIKOGLU YILDIRIM  
Prof. Dr. Timar ADRIAN  
Prof. Dr. Valentim NUNES  
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH  
Assoc. Prof. Dr. Abdelhadi Abdel WAHAB  
Assoc. Prof. Dr. Ebru KUYUMCU SAVAN  
Assoc. Prof. Dr. Eren OZCEYLAN  
Assoc. Prof. Dr. Erkan CELIK  
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin SEVİK  
Assoc. Prof. Dr. Muharrem INCE  
Assoc. Prof. Dr. Nevin TURAN OZEK  
Asst. Prof. Dr. Erdem ISIK  
Asst. Prof. Dr. Zeki OMAC  
Dr. Nuruol Syuhadaa MOHD

### **Advisory Board**

Prof. Dr. Alev TASKIN GUMUS  
Prof. Dr. Hikmet GECKIL  
Prof. Dr. Timar ADRIAN  
Prof. Dr. Vedat UYAK  
Prof. Dr. Valentim NUNES  
Prof. Dr. Yakup DEMIR  
Prof. Dr. M. Zafer KOYLU  
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH  
Assoc. Prof. Dr. Abdelhadi Abdel WAHAB  
Assoc. Prof. Dr. Sevcan KURUM

Munzur University, Tunceli, Turkey  
Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey  
Akdeniz University, Antalya, Turkey  
Munzur University, Tunceli, Turkey  
Marmara University, Istanbul, Turkey  
Munzur University, Tunceli, Turkey  
Munzur University, Tunceli, Turkey  
University of Oradea, Oradea, Romania  
Instituto Politecnico de Tomar, Tomar, Portuguese  
University of Moulay Ismail Errachidia, Morocco  
University of Arabian Gulf, Kingdom of Bahrain  
Inonu University, Malatya, Turkey  
Gaziantep University, Gaziantep, Turkey  
Istanbul University, Istanbul, Turkey  
Mersin University, Mersin, Turkey  
Munzur University, Tunceli, Turkey  
Mus Alparslan University, Mus, Turkey  
Munzur University, Tunceli, Turkey  
Munzur University, Tunceli, Turkey  
Malaya University, Kuala Lumpur, Malaysia

Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey  
Inonu University, Malatya, Turkey  
University of Oradea, Oradea, Romania  
Pamukkale University, Denizli, Turkey  
Instituto Politecnico de Tomar, Tomar, Portuguese  
Firat University, Elazig, Turkey  
Dicle University, Diyarbakir, Turkey  
University of Moulay Ismail Errachidia, Morocco  
University of Arabian Gulf, Kingdom of Bahrain  
Firat University, Elazig, Turkey

## CONTENTS

### *Research Articles*

Statistical Analysis of Occupational Accidents in the Turkish Health Sector Between 2013 and 2019 Türkiye Sağlık Sektöründe 2013 -2019 Yılları Arasında İş Kazalarının İstatistiksel Analizi <b>Erhan Demir, Müge Ensari Özay</b> .....	<b>1-12</b>
Estimation of The Bearing Capacity of Treated Soils by Statistical Methods Katkılı Zeminlerde Taşıma Gücünün İstatistiksel Yöntemlerle Tahmini <b>Ömer Faruk Altuntaş, Gamze Bilgen</b> .....	<b>13-23</b>
Investigation of Magnetic Properties of Poly Vinyl Chloride Composites Prepared Using Different Ratios of Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Maghemite) Nanoparticles Farklı Oranlarda Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Maghemit) Nanopartikülleri Kullanılarak Hazırlanan Poli Vinil Klorür Kompozitlerinin Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi <b>Mustafa Ersin Pekdemir, Mehmet Fatih Coşkun, Demet Coşkun</b> .....	<b>24-30</b>
Machine Learning Based Deception Detection System in Online Social Networks Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Makine Öğrenmesi Tabanlı Aldatma Tespit Sistemi <b>Harun Bingol, Bilal Alatas</b> .....	<b>31-42</b>
The Effect of Some Agricultural Wastes on the Growth and Yield of Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kum. Bazı Tarımsal Atıkların, Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kum.'un Gelişmesi ve Verimi Üzerine Etkisi <b>Necla Gürsoy, Ömer Faruk Yeşil, Abdunnasır Yıldız</b> .....	<b>43-52</b>
Performance Enhanced HBONet CNN Approach for Embedded Systems Gömülü Sistemler İçin Performansı Arttırılmış HBONet CNN Yaklaşımı <b>Gürkan Doğan, Burhan Ergen</b> .....	<b>53-60</b>
Evaluation of the Microbiological Quality and Public Health Risks of Urban Beaches on the Munzur and Pülümür Streams in Tunceli Province Tunceli İli Munzur ve Pülümür Çayı Kent Plajlarının Mikrobiyolojik Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Halk Sağlığı Riskleri <b>Banu Kutlu, Serdar Çetindağ</b> .....	<b>61-70</b>
Modelling and Optimization of Indigo Carmine Adsorption onto P(NIPAM-co-AN)/Clay Composite Using Response Surface Methodology Cevap Yüzey Metodolojisi Kullanılarak P(NIPAM-co-AN)/Kil Kompozit Üzerine İndigo Karmin Adsorpsiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu <b>Güzin Pıhtılı, Mehtap Tanyol</b> .....	<b>71-80</b>
Determination of the Effects of Different Row Distances on Yield and Quality in Black Cumin (Nigella sp.) Genotypes in Kahramanmaraş Conditions Kahramanmaraş Koşullarında Çörek Otu (Nigella sp.) Genotiplerinde Farklı Sıra Arası Mesafelerin Verim ve Kaliteye Etkilerinin Belirlenmesi <b>Zeliha Aysabar, Osman Gedik</b> .....	<b>81-90</b>

Investigation of Thermal and Electrical Properties of Dipeptides Containing Fmoc Group Fmoc Grubu Taşıyan Dipeptit Yapılarının Termal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi <b>Eray Çalışkan, Fatih Biryan, Kenan Koran .....</b>	<b>91-101</b>
Evaluation Guide for Performance Analysis of Image Compression Algorithms Görüntü Sıkıştırma Algoritmalarının Performans Analizi İçin Değerlendirme Rehberi <b>Fırat Artuğer, Fatih Özkaynak.....</b>	<b>102-110</b>
Finite Element Analysis of Force Distribution of Shopping Carts on Human Joints Alışveriş Sepetlerinin İnsan Eklemleri Üzerindeki Kuvvet Dağılımının Sonlu Elemanlar Analizi <b>Adil Kılınç, Tarık Akgül, Uğur Kemiklioğlu, Ahmet Zafer Şenalp .....</b>	<b>111-116</b>
Sr-Nd Isotope Composition and Petrogenetic Properties of Upper Mantle Originated Late Cretaceous Elazığ Magmatic Rocks Üst Manto Kökenli Geç Kretase Yaşlı Elazığ Magmatik Kayaçlarının Sr-Nd İzotop Bileşimi ve Petrojenetik Özellikleri <b>Sevcan Kürüm, Ayşe Kübra Murat .....</b>	<b>117-142</b>
New Records for Tunceli Flora Tunceli Florası İçin Yeni Kayıtlar <b>Mehmet Yavuz Paksoy .....</b>	<b>143-148</b>
Compatibilizer Effect on Optical Properties of Immiscible PMMA/PS Blends Karışmaz PMMA/PS Harmanlarının Optik Özelliklerine Uyumlaştırıcı Etkisi <b>Ersen Yılmaz .....</b>	<b>149-156</b>
The Mathematical characteristic of the Phase and Group Velocities of Pure Alfvén Wave in the E Region of the Ionosphere for Low Latitudes Düşük Enlemlerde İyonosferin E bölgesinde Düşük Frekanslı Alfvén Dalgalarının Faz ve Grup Hızlarının Matematiksel Karakteristiği <b>M. Buğra Yeşil, Kadri Kurt.....</b>	<b>157-162</b>
Pollen Morphology of Some Taxa Belonging to Polygonum L. and Rumex L. (Polygonaceae) and Its Taxonomic Significance Polygonum L. ve Rumex L.'ye (Polygonaceae) ait Bazı Taksonların Polen Morfolojisi ve Taksonomik Önemi <b>Biröl Başer, Mutlu Yiğit Aşit, Murat Kürşat .....</b>	<b>163-172</b>
Analysis of Double Differential Cross Section for Neutron Induced and Neutron Emission Reaction of <sup>209</sup> Bi Isotope <sup>209</sup> Bi İzotopunun Nötron ile İndüklenmiş ve Nötron Emisyon Reaksiyonu için Çift Diferansiyel Tesir Kesiti Analizi <b>Deniz Canbula.....</b>	<b>173-178</b>
Temporal and Spatial Variations of Zooplankton Community and Biochemical Response due to Water Quality in a Deep Dam Lake (Turkey) Derin Bir Baraj Gölü'nde (Türkiye) Zooplankton Topluluğunun Zamansal ve Mekansal Değişimleri ve Su Kalitesine Bağlı Biyokimyasal Cevabı <b>Duygu Özhan Turhan, Didem Gökçe.....</b>	<b>179-194</b>



Investigation of the Effect of Natural Gas Consumption on Electricity Consumption: The Case of Muş Province Doğal Gaz Tüketiminin Elektrik Tüketimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Muş İli Örneği <b>Halil Gör</b> .....	<b>195-203</b>
Investigation of Carbon Dioxide Storage Potential of Orhaneli Ophiolite: Experimental Findings Orhaneli Ofiyolitinin Karbondioksit Saklama Potansiyelinin Araştırılması: Deneysel Bulgular <b>Hatice Ünal Ercan, Gönenç Göçmengil, Fatma Gülmez Yıldırım, Mustafa Topkafa, Ömer Ündül</b> .....	<b>204-216</b>
Determination of Toxoplasmosis Frequency by Real-Time PCR in Ege University Medical Faculty Hospital Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde Toksoplazmozis Sıklığının Real-Time PZR ile Belirlenmesi <b>Muhammet Karakavuk, Hüseyin Can, Aysu Değirmenci Döşkaya, Adnan Yüksel Gürüz, Mert Döşkaya</b> .....	<b>217-223</b>
Petrographic and Geochemical Characteristics of Granitoids of the Kaçkar Batholith Outcropping Around Çamlıkaya (İspir/Erzurum) Region Çamlıkaya (İspir/Erzurum) Köyü Çevresinde Yüzeyleyen Kaçkar Batoliti'ne ait Granitoidlerin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri <b>Abdullah Sar, Sevcan Kürüm, Hao-Yang Lee</b> .....	<b>224-238</b>
Production of Pectinase Enzymes by Bacillus pumilus in Bioreactor and Investigation of the Effect of Mixing and Airflow Rate Biyoreaktörde Bacillus pumilus ile Pektinaz Enzimlerinin Üretimi ve Karıştırma ve Hava Akış Hızının Etkisinin İncelenmesi <b>Özlem Tepe, Arzu Y. Dursun</b> .....	<b>239-252</b>
<b><i>Review Article</i></b>	
The Current Number of Animals and the Situation of Pastures and Forage Crops Planting Areas in Elazığ Province Elâzığ İlinin Mevcut Hayvan Sayısı ile Meralarının ve Yem Bitkisi Ekim Alanlarının Durumu <b>Halil Karan, Mehmet Başbağ</b> .....	<b>253-265</b>

## Türkiye Sağlık Sektöründe 2013 -2019 Yılları Arasında İş Kazalarının İstatiksel Analizi

Erhan Demir<sup>1\*</sup>, Müge Ensari Özay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Erzincan, Türkiye

<sup>2</sup>Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

\*edemir@erzincan.edu.tr , mugeensariozay@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:24.06.2021, Makale kabul tarihi:16.05.2022

### Öz

İş kazalarının önlenmesi iş güvenliğinde en önemli hedeflerden biridir ancak kazaların nedenlerini anlamadan kazaları önlemek son derece zordur. Önleyici tedbirlerin alınmasında iş kazalarına ilişkin istatistiksel verilerin analizi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, çalışmanın amacı Türkiye genelinde ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında resmi olarak yayınlanan iş kazalarına ait istatistiksel bilgileri analiz etmektir. Çalışmada veri kaynağı olarak T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu istatistikleri ve Avrupa İstatistik Ofisi verileri kullanılmıştır. Veriler doğrultusunda Avrupa İstatistik Ofisi tarafından belirlenen hesaplama ölçütlerine göre son 7 yıllık periyotta kaza insidans oranları hem Türkiye geneli hem de sağlık sektörü için hesaplanmıştır. Ayrıca Türkiye genelinde elde edilen veriler ile sağlık sektöründeki veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için SPSS programı ile iş kazası geçiren sigortalı sayıları, iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayıları, iş kazası sonucu ölüm sayıları için korelasyon analizi yapılmıştır. Türkiye geneli iş kazası geçiren sigortalı sayıları ile sağlık sektöründe iş kazası geçiren sigortalı sayıları arasında anlamlı ve pozitif yönde anlamlı bir ilişki ( $r=.961$ ,  $p<.01$ ) bulunmuştur. Sonuç olarak Türkiye genelinde ve sağlık sektöründe iş kazası geçiren sigortalı sayıları, iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayıları, iş kazası sonucu ölüm sayılarının arada dalgalanmalar olsa da genel olarak yıllar içinde arttığı görülmektedir. Fakat sağlık sektöründe artış yüzdelерinin daha fazla olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği ve Türkiye kaza insidans oranları karşılaştırıldığında, 2013, 2014 ve 2015 yıllarında AB ortalaması ile Türkiye oranları yakın değerlerde iken son yıllarda Türkiye kaza insidans oranları ciddi şekilde artmıştır. Bunun yanısıra, Fransa ve İspanya'nın kaza insidans oranlarının Türkiye kaza insidans oranlarına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. İş kazası sonucu ölüm sayısı kaza insidans oranları incelendiğinde 6 yıllık dönemde Türkiye oranlarının AB ortalamasının çok üzerinde olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İş kazası, kaza insidans oranı, sağlık sektörü

## Statistical Analysis of Occupational Accidents in the Turkish Health Sector Between 2013 and 2019

### Abstract

Prevention of occupational accidents is one of the most important goals in occupational safety, but without understanding the causes of accidents, it is extremely difficult. The analysis of statistical data on occupational accidents has great importance in taking preventive measures. Therefore, the aim of this study is to analyze the statistical information of occupational accidents officially published between 2013-2019 in throughout Turkey and in the health sector. In the study, T.C. Social Security Institution statistics and European Statistics Office data were used. In line with the data, according to the calculation criteria determined by the European Statistics Office, the accident incidence rates in the last 7 years were calculated for Turkey and the health sector. In addition, in order to determine the relationship between the data obtained throughout Turkey and the data in the health sector, correlation analysis was conducted with the SPSS program for the number of insured persons who had an occupational accident, the number of permanent incapacity due to work accidents, and the number of deaths as a result of occupational accidents. A significant and positive relationship was found ( $r=.961$ ,  $p<.01$ ) between the number of insured persons who had occupational accidents throughout Turkey and the number of insured persons who had an occupational accident in the health sector. As a result, it is observed that the number of insured persons who had occupational accidents, the number of permanent incapacity due to work

accidents, and the number of deaths due to work accidents, have generally increased over the years in Turkey and in the health sector. However, it seems that the increase percentages are higher in the health sector. When the accident incidence rates of the European Union and Turkey are compared, while the EU average and Turkey rates were close in 2013, 2014 and 2015, the accident incidence rates in Turkey have increased significantly in recent years. In addition, it is seen that the accident incidence rates of France and Spain are close to the accident incidence rates of Turkey. When the accident incidence rates for the number of deaths as a result of work accidents were examined, it was determined that the rates in Turkey in the 6-year period were much higher than the EU average.

**Keywords:** Accident incidence rate, health sector, occupational accident

## GİRİŞ

Çalışmak, benlik saygısını, refahı ve sosyal hareketliliği artırmak için önemlidir (Budd ve Spencer, 2015). Bununla birlikte, iş faaliyetlerinden kaynaklanan veya iş faaliyetleri sırasında meydana gelen kazalar, çalışanların sağlığının bozulmasının önemli bir nedenidir ve ciddi sosyal ve ekonomik yansımaları vardır (Cabral vd., 2014). Çalışanlar, işyerlerinde fiziksel ve ruhsal sağlığı tehdit eden birçok etmene maruz kalmaktadır. Meslek hastalığı veya iş kazasına uğrayan kişi, kendisinden beklenen sosyal rolü yerine getirememektedir. Ayrıca iş kazası veya meslek hastalığı sebebiyle çalışanın işyerinden uzak kalması kendisini, ailesini, çalıştığı işyerini ve ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir (Karaca, 2013).

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) bakımından ciddi riskler taşıyan sektörlerden biri sağlık hizmetleridir. Sağlık hizmetlerinin birçok alanından biri olan hastanelerde farklı nitelikteki birçok risk etmeni bir araya gelmiştir (Taşçıoğlu, 2007). Sağlık sektörünün çeşitli branşlarında eğitim almış olan sağlık çalışanları sağlık hizmeti sunarken (Dindar vd., 2004), AIDS, Hepatit B, tüberküloz ve diğer bulaşıcı hastalıklar gibi biyolojik; gürültü, aydınlatma ve radyasyon gibi fiziksel; uygun olmayan işyeri tasarımı gibi ergonomik; alkol ve madde bağımlılığı, tek başına çalışma, stres ve vardiyalı çalışma gibi psikososyal; cıva, anestezi maddeler, sitotoksik ilaçlar, sterilize edici maddeler ve farmasötik maddeler gibi kimyasal; sosyal olanakların olmaması gibi sosyal güvenlikle ilgili birçok sağlık riski ile karşı karşıyadır (Soyer, 1993; Hutfmder, 1991).

Sağlık kurumlarında çalışanların karşı karşıya oldukları risk ve tehlikelerin ne olduğunu, hangi aşamalarda ortaya çıktığını ve bu tehlike ve risklere karşı alınabilecek kontrol önlemlerini bilmeleri önemlidir. Sağlık kurumlarında yürütülen faaliyetler, 20.06.2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun (2012) 9'uncu maddesi uyarınca işyerlerinin İSG açısından yer aldığı Tehlike

Sınıfları Listesi'nde belirtilen "tehlikeli ve çok tehlikeli" işkolları arasında yer almaktadır (Tehlike Sınıfları Tebliği, 2012). Sağlık kurumlarında değişik meslek gruplarından birçok insan bir arada çalışmaktadır. Bu çalışmalar sırasında çalışanlar Tüberküloz, Hepatit B, Hepatit C, HIV, Covid 19 gibi hastalıklar ve kesici-delici alet yaralanması, kas-iskelet yaralanmaları, kimyasallarla maruziyet ve alerjik reaksiyonlar gibi kaza riskleri ile karşı karşıya kalmaktadırlar.

Bu çalışmada 2013-2019 yılları arasında T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayınlanmış istatistik yıllıkları incelenmiş, elde edilen veriler ile sağlık sektörü (insan sağlığı hizmetleri) ve Türkiye genelinde meydana gelen iş kazalarına ait istatistiksel bilgiler analiz edilerek Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın bilime katkısı değerlendirildiğinde; kaza insidans oranları, çalışanların iş yerlerinde işle ilgili tehlikelerden korunma derecesini ölçen iş yerinde sağlık ve güvenlik durumunun önemli bir göstergesi olduğu, verilerin hükümetler, kuruluşlar ve diğer paydaşlar tarafından mesleki yaralanmaların, hastalıkların ve ölümlerin önlenmesi ve azaltılmasına yönelik değerlendirilmesinin önemi görülmektedir. Bu çalışmada kaza insidans oranlarının sağlık sektöründeki İSG çalışmalarının uygunluk düzeyinin bir göstergesi olarak ortaya koyulmuştur.

## İş Sağlığı ve Güvenliği

Sağlık ve güvenlik, sosyal kalkınmanın önemli köşe taşları haline gelmiştir. Bununla birlikte, gelişmekte olan ülkelerde İSG ilgili problemler ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. Ayrıca iş sağlığı ile ilgili sorunların etkin bir şekilde nasıl yönetileceği de önemli bir sorun haline gelmiştir (Chen vd., 2020). İSG mühendislik bilimleri, sosyal bilimler ve tıp bilimlerini içeren çok disiplinli bir bilim dalıdır (TMMOB, 2012). Bu nedenle İSG kavramı ile ilgili birçok tanım yapılmıştır. Uluslararası Çalışma



Örgütü (ILO; International Labour Organization) iş sağlığı ve güvenliğini, çalışanların yaptıkları iş ile ilgili hastalık ve yaralanmaların önlenmesinin yanı sıra çalışma şartları ve çalışma ortamının iyileştirilmesini içeren faaliyetler şeklinde tanımlamıştır (ILO, 2009). Bir başka tanımda ise tehlikelerin önlenmesi ile birlikte risklerin öngörülmesi, risklerin değerlendirilmesi ve belirlenen risklerin tamamen ortadan kaldırılması veya zararlarının en aza indirilmesi için yürütülen çalışmalar olarak tanımlanmıştır (Karakulle, 2012). İş sağlığı ve güvenliğinde amaç, iş kazası ve meslek hastalıklarının olumsuz etkilerine karşı çalışanları bedensel ve ruhsal olarak korumak, çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak ve çalışma hayatında işçilerin sağlığına zarar verme potansiyeli olan etmenleri önceden belirleyip gerekli önlemleri almaktır (Cervatoğlu, 2003).

### İş Kazası

İş kazası, sigortalıyı işverenin otoritesi altında bulunduğu esnada, yaptığı iş nedeniyle aniden ya da dışarıdan gelen bir etkiyle bedensel veya ruhsal açıdan zarara uğratan olay şeklinde tanımlanmıştır (Odaman, 2005). 6331 sayılı İSG Kanunu'nda iş kazası, "İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olay" olarak tanımlanmıştır (6331 Sayılı Kanun, 2012).

İş kazası kavramı, 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu (SSGSSK)'nın 13. maddesinde de tanımlanmıştır. SSGSSK'ya göre "iş kazası;

- *Sigortalının iş yerinde bulunduğu sırada,*
  - *İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle,*
  - *Sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle,*
  - *Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,*
  - *Emziren kadın sigortalının çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda,*
  - *Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında,*
- meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya daha sonra ruhen ya da bedenen özre uğratan olaydır" (5510 Sayılı Kanun, 2006).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO; World Health Organization) ise iş kazasını "önceden planlanmamış, genellikle kişisel yaralanmalara, araç ve gereçlerin, makinelerin zarara uğramasına ve üretimin bir süre durmasına neden olan bir olay" olarak tanımlamıştır (Bertan ve Çakır, 1997).

ILO, çalışanın ev ile iş arasındaki güzergâhta veya maaşını aldığı veya mesai saatlerinde yemek yediği esnada meydana gelen kazaların, iş kazalarının bir alt grubu olarak tanımlanmasını önermektedir. AB'nin (2001) yayınladığı "İşyerinde Gerçekleşen Kaza İstatistikleri: Metodoloji" kitabında iş kazası kavramını, bedensel veya ruhsal hasara sebep olan, işin işleyişi sırasında meydana gelen farklı durum olarak tanımlamıştır. Akut zehirlenmeler, üçüncü kişilerin şiddet içeren davranışları ve diğer kişi veya kurumlar nedeniyle de olsa iş esnasında işyeri sınırları dışında meydana gelen kazalar da bu tanım kapsamındadır. Yalnızca tıbbi kökenli ve mesleki hastalıklar sonucunda meydana gelen kazalar, çalışanın kendine yönelik önceden planlayarak gerçekleştirdiği yaralanmalar ve çalışanın işten eve gidiş geliş sırasında geçirdiği kazalar bu tanım kapsamında değildir (Aksan Davas, 2005).

İş kazası vakalarının raporlanması, uygun önleyici kararların alınması ve aksiyon alınması açısından önemlidir. Bununla birlikte, bazı çalışanların maruz kaldığı risklerin farkında olmaması, iş kazalarının önemi hakkında bilgi eksikliği veya işten çıkarılma korkusu nedeniyle bildirim yapılmaması iş kazalarının bildirim oranını düşürmektedir (Oliveira vd., 2015).

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile İSG Kanununu tamamlayıcı nitelikte çıkarılan ikincil mevzuatların uygulanması iş kazalarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Çoğu kaza, mevcut düzenlemelerin uygulanması ve kontrolü ile önlenebilir (Özay ve Coşkun, 2017).

### Sağlık Kurumlarında İş Sağlığı ve Güvenliği

Kişilerin ve toplumların hasta oldukları zaman tedavilerini yapmak, sağlıklarını korumak, tamamen iyileşmeyip sakat kalanların ise başka kişilere bağımlı kalmadan yaşamlarını devam ettirmelerini sağlamak ve toplumun sağlık düzeyini geliştirmek için yapılan planlı faaliyetlerin tümüne sağlık hizmetleri denir (Öztek, 2001).

Sağlık işletmelerinin toplumun sağlık düzeyinin yükseltilmesi ve birey ve çalışan sağlığını geliştirmek gibi yaşamsal önem teşkil eden görevleri vardır.

Çeşitli sağlık işletmeleri sosyal, bedensel ve ruhsal açıdan tam iyilik halini sağlama görevini yerine getirmek için hastalara koruyucu, tedavi edici ve rehabilite edici sağlık hizmetlerini sunmaktadırlar (Yerebakan, 2000).

Sağlık hizmetleri sektörü İSG açısından önemli tehlike ve riskler barındıran çalışma kollarından biridir (Abbasoğlu vd., 2006). Bu tehlike ve risklerin, meslek hastalıklarını, iş kazalarını, sakatlık ve iş göremezlik durumlarını artırdığı, yeni tehlike ve riskler oluşturduğu ve türlerini artırdığı, hizmet sunulan kişilerin doğrudan riske maruz kalmasına, iş veriminin düşmesine ve kurumun ekonomik açıdan kayıp yaşamasına sebep olduğu belirtilmektedir (Uğurlu vd., 2010).

Sağlık çalışanları enfeksiyonlar, farmasötik maddeler, kullanılan malzemelerin oluşturduğu tehlikeler, tıbbi atıklar, ergonomik tasarım yetersizliği, çalışma şartları ve malzeme eksikliği, aşırı iş yükü, diğer çalışanların dikkatsiz hareketleri vb. sebeplerle birçok tehlike, kaza ve meslek hastalığı risklerine maruz kalmaktadır (Bektaş vd., 2005; Bahçecik ve Öztürk, 2009). Sağlık kurumlarında en sık görülen kazalar; kan ve vücut sıvılarıyla temas, kesici ve delici alet yaralanmaları, çalışanların işe gidiş geliş esnasında meydana gelen trafik kazaları, hasta taşıma, ağır kaldırma, çarpma, düşme, incinme, kayma, takılma vb. nedenlerle meydana gelen kas iskelet sistemi yaralanmaları ve fiziki-sözlü şiddet, alerji, yangın, zehirlenme, yanık, elektrik çarpması, patlama vb. gibi çalışma ortamı kaynaklı her türlü kazalardır. Sağlık kurumlarında çalışanlar, son yıllarda daha güvensiz, zor, güvencesiz ve olumsuz koşullarda çalışarak, sağlık hizmetlerinin özelliklerinden kaynaklanan birçok riske maruz kalmaya başlamışlardır (Uçak vd., 2011; Yılmaz ve Özkan, 2006). Mutfak ve çamaşırhane çalışanları ile teknik elemanlar ısı, elektrik ve gürültü kaynaklı fiziksel risklere maruz kalmaktadır. Kat hizmetlerinde çalışanlar ise deterjan kaynaklı irritasyon, kesici ve delici aletler sebebiyle yaralanma, burkulma ve zorlanma gibi kas-iskelet sistemi riskleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu risklere ek olarak meslek ve uzmanlık alanı fark etmeksizin tüm çalışanların hasta ve hasta malzemeleri ile temas etmesi risk yelpazesini genişletmektedir (Dokuzoğuz, 2008).

Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH; National Institute of Occupational Safety and Health)'nin 2600 sağlık kurumunun meslek

hastalığı servisinin raporlarını baz alarak yaptığı değerlendirme sonucunda, sağlık kurumlarında çalışanlarda en sık burkulma ve zorlanmaların görüldüğü belirlenmiştir. Burkulma ve zorlanmaları, delici yaralanmalar, ezilme, çizikler, yanıklar, kırıklar, sırt-bel yaralanmaları ve laserasyonlar takip etmektedir. En çok görülen meslek hastalıkları enfeksiyon, dermatit, solunum sorunları, ilaç ve tedavi tepkileridir (NIOSH, 1988).

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 2013-2019 yılları arasında SGK tarafından yayınlanan istatistik yıllıkları (4-1/A) kullanılarak Türkiye genelindeki tüm sektörlerde meydana gelen iş kazalarına ait istatistiksel bilgiler ile sağlık sektöründe meydana gelen iş kazalarına ait istatistiksel bilgiler analiz edilmiştir. SGK 2013 yılı İstatistik Yıllıkları Bölüm 3 İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistiklerinde, 2012 yılı ve öncesinde SGK tarafından yayınlanan istatistiklerde ödemesi yapıp kapatılan vakaların esas alındığı belirtilmiştir. 2013 yılından itibaren bildirimler elektronik ortamda alınmaya başlanmış ve tüm sayılar verilmeye başlanmıştır. Bu sebepten dolayı 2013 ve sonrası yıllardaki istatistik yıllıkları değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler ile Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından belirlenen ölçütlere göre son 7 yıllık periyotta kaza insidans oranları hesaplanmıştır.

Sağlık sektörüne ait hesaplamalar yapılırken SGK istatistik yıllıklarında bulunan 86 kodlu “İnsan sağlığı hizmetleri” işkoluna ait veriler kullanılmıştır.

Kaza insidans oranı (KİO), Eurostat tarafından çalışan 100.000 kişi başına gerçekleşen iş kazası sayısı olarak tanımlanmıştır. İnsidans oranı, toplam kaza sayısının toplam çalışan sayısına oranının 100.000 ile çarpılmasıyla hesaplanır (Eurostat, 2013). Bu çalışmada 3 farklı insidans oranı hesaplanmıştır.

- Genel kaza insidans oranı (KİO):

$$KİO: \frac{\text{Toplam kaza sayısı} \times 100000}{\text{Toplam çalışan sayısı}} \quad (1)$$

- İş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayısı için insidans oranı (KİO<sub>SİGS</sub>):

$$KİO_{SİGS}: \frac{\text{Sürekli iş göremezlik sayısı} \times 100000}{\text{Toplam çalışan sayısı}} \quad (2)$$

- İş kazası sonucu ölüm sayısı için insidans oranı (KİO<sub>ÖS</sub>):

$$KIO_{\text{ös}}: \frac{\text{İş kazası sonucu ölüm sayısı} \times 100000}{\text{Toplam çalışan sayısı}} \quad (3)$$

Hesaplanan genel kaza ve iş kazası sonucu ölüm sayısı için insidans oranları, Avrupa Birliği (28 ülke ortalaması) ve 5 AB ülkesi için hesaplanan insidans oranlarıyla karşılaştırılmıştır. Tüm üye ülkelerin 2019 yılına ait verileri açıklanmadığından 2018 yılına kadar olan veriler kullanılmıştır.

Ayrıca Türkiye genelinde elde edilen veriler ile sağlık sektöründeki veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için SPSS programı yardımıyla analiz yapılmıştır. İş kazası geçiren sigortalı sayıları, iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayıları, iş kazası sonucu ölüm sayıları için korelasyon analizi yapılmıştır. Verilerin normallik testi yapılmış ve normal dağılım gösterdikleri için Pearson yöntemi tercih edilmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında SGK istatistik yıllıklarına göre istihdam edilen çalışan sayıları ve iş kazası geçiren sigortalı sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Türkiye

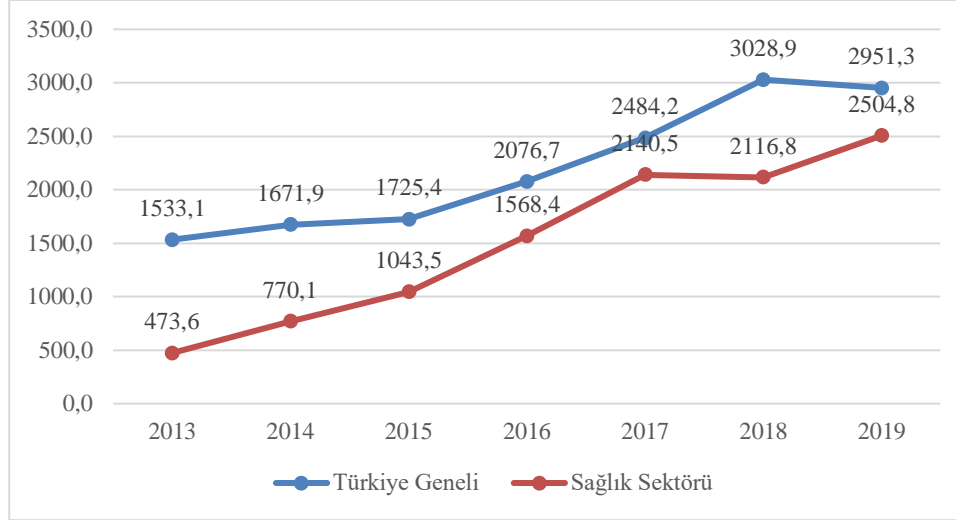
genelinde çalışan sayısında 2013-2019 yılları arasında dalgalı bir görünüm gözlemlenmiştir. 2018 yılında %1.7 oranında bir azalma gerçekleşmişse de 2019 yılında %0.6 oranında tekrar artmıştır. Sağlık sektöründe ise 2013-2019 yılları arasında çalışan sayısının sürekli arttığı görülmektedir.

İş kazası geçiren sigortalı sayısına bakıldığında, Türkiye genelinde tüm sektörlerde 2018 yılında kadar iş kazası geçiren sigortalı sayısının sürekli arttığı görülmektedir. 2019 yılında ise %2 oranında kısmi bir azalma gerçekleşmiştir. Sağlık sektöründe ise iş kazası geçiren sigortalı sayılarının 7 yıllık periyotta sürekli arttığı görülmektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, Türkiye genelinde 2013 yılına göre 2019 yılında iş kazası geçiren sigortalı sayısının %120.7 oranında arttığı görülmektedir. Bu oran sağlık sektörü için %1118.8 olarak hesaplanmıştır. Hem Türkiye genelinde hem de sağlık sektöründe yaşanan artışın sebebi, iş kazalarının bildirimine 2013 yılından itibaren elektronik ortamda alınmaya başlanması ve iş kazalarının bildiriminde farkındalığın artması olabilir.

**Tablo 1.** SGK istatistik yıllıklarına göre 2013-2019 yılları arasında Türkiye geneli ve sağlık sektöründe istihdam edilen çalışan sayıları ve iş kazası geçiren sigortalı sayıları

Yıllar	Türkiye Geneli					Sağlık Sektörü				
	Çalışan Sayısı	İş Kazası Geçiren Sigortalı Sayısı				Çalışan Sayısı	İş Kazası Geçiren Sigortalı Sayısı			
		Erkek	Kadın	Toplam	Değişim		Erkek	Kadın	Toplam	Değişim
2013	12.484.113	170.644	20.745	191.389	0%	238.597	443	687	1.130	0%
2014	13.240.122	193.192	28.174	221.366	16%	260.498	724	1.282	2.006	78%
2015	13.999.398	206.922	34.625	241.547	9%	281.643	946	1.993	2.939	47%
2016	13.775.188	241.115	44.953	286.068	18%	284.363	1.502	2.958	4.460	52%
2017	14.477.817	300.770	58.883	359.653	26%	327.963	2.340	4.680	7.020	57%
2018	14.229.170	354.308	76.677	430.985	20%	491.631	3.394	7.013	10.407	48%
2019	14.314.313	337.108	85.355	422.463	-2%	549.861	4.471	9.302	13.773	32%



Şekil 1. SGK istatistik yıllıklarına göre Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında kaza insidans oranları

Tablo 2. AB 28 ülke ortalaması ve seçili AB ülkelerinin 2013-2018 yılları arasında tüm sektörler ve sağlık sektörü kaza insidans oranları

Tüm sektörler	2013	2014	2015	2016	2017	2018
AB-28 Ülke Ort.	1537.6	1580.87	1535.09	1570.84	1556.86	1518.78
Türkiye	1533.06	1671.93	1725.41	2076.69	2484.17	3028.88
Almanya	1900.01	1977.31	1930.57	1950.91	1819.55	1721.56
Fransa	3041.67	3326.98	3160.29	3458.28	3395.93	3444.79
Birleşik Krallık	831.68	827.27	760.37	721.87	710.6	691.65
Finlandiya	1930.71	1824.43	1726.39	1676.29	1699	1624.08
İspanya	2580.57	2665.36	2767.5	2807.18	2842.41	2823.92
Sağlık sektörü	2013	2014	2015	2016	2017	2018
AB-28 Ülke Ort.	1105.34	1387.00	1368.82	1365.66	1223.89	1192.90
Türkiye	473.60	770.06	1043.52	1568.42	2140.49	2116.83
Almanya	1032.89	1035.53	1064.57	1137.12	1015.78	976.58
Fransa	2435.69	3917.63	3944.30	3850.73	2802.18	3140.12
Birleşik Krallık	1277.98	1301.53	1190.07	1186.93	1174.00	1128.72
Finlandiya	571.23	518.66	540.53	466.63	610.40	703.60
İspanya	1953.74	1978.98	2067.14	2016.42	1868.01	1712.93

Kaynak: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw\\_n2\\_01/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw_n2_01/default/table?lang=en) Erişim tarihi:29.05.2021

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasındaki dönemde hesaplanan kaza insidans oranları Şekil 1’de verilmiştir. Türkiye geneli kaza insidans oranlarına bakıldığında, sürekli artış gerçekleşmesine rağmen 2019 yılında % 2.6 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Sağlık sektörü, 2018

yılında %1.1 oranında gerçekleşen azalma dışında Türkiye geneli ile benzerlik göstermektedir.

AB geneli ve seçili 5 AB ülkesinin 2013-2018 yılları arasındaki dönemde hesaplanan kaza insidans oranları Tablo 2’de verilmiştir. 2013, 2014 ve 2015 yıllarında AB ile Türkiye kaza insidans oranlarının yakın değerlerde olmasına rağmen son yıllarda

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.956825

Türkiye kaza insidans oranlarındaki artış dikkat çekmektedir. AB genelinde kaza insidans oranında 2013 yılına göre 2018 yılında %1.2 düşüş gözlenirken Türkiye genelinde %97.6 artış gerçekleşmiştir. Aynı oran Almanya için % -9.4, Fransa için %13.2, Birleşik Krallık için %-16.8, Finlandiya için %-15.9 ve İspanya için %9.4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca son yıllarda Fransa ve İspanya'nın kaza insidans oranlarının Türkiye kaza insidans oranlarına yakın değerlerde olduğu izlenmektedir.

AB geneli ve seçili 5 AB ülkesinin sağlık sektöründe 2013-2018 yılları arasındaki dönemde hesaplanan kaza insidans oranları Tablo 2'te verilmiştir. İlk yıllarda Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranlarının AB ortalamasına oranla daha düşük seviyelerde seyretmesine rağmen 2016 yılından sonra Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranları AB ortalaması üzerinde gerçekleşmiştir. Seçili 5 AB ülkesinin sağlık sektöründeki kaza insidans oranlarının, 6 yıllık dönemdeki artış ve azalış oranlarına bakıldığında Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranlarının artışına kıyasla daha düşük seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Ayrıca 2018 yılında Fransa sağlık sektörünün kaza insidans oranının Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranı üzerinde gerçekleştiği izlenmektedir.

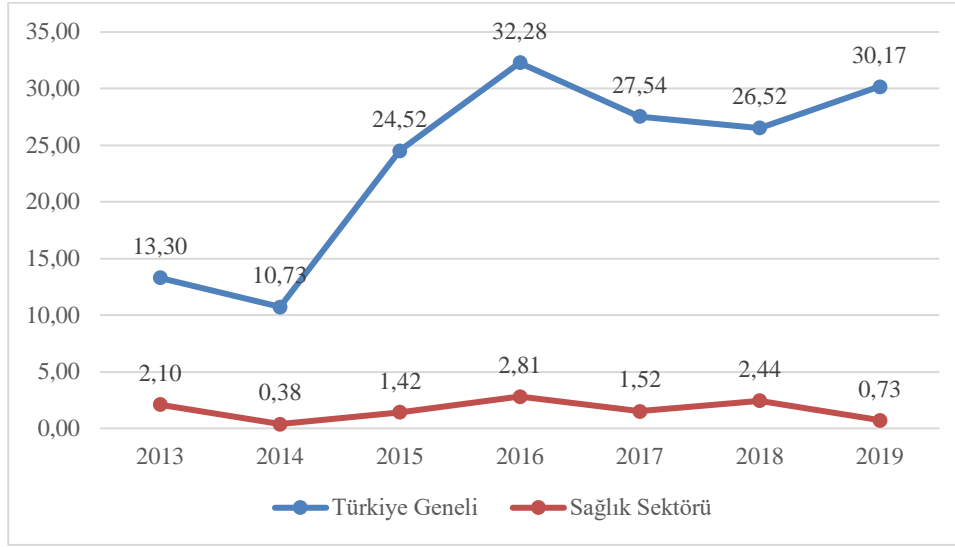
Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasındaki dönemde iş kazası geçiren sigortalı

sayıları arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucuna göre Türkiye geneli iş kazası geçiren sigortalı sayıları ile sağlık sektöründe iş kazası geçiren sigortalı sayıları arasında anlamlı ve pozitif yönde bir ilişki ( $r=.961$ ,  $p<.01$ ) olduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayıları Tablo 3'te verilmiştir. 7 yıllık dönemde sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayıları, Türkiye geneli ve sağlık sektöründe benzer şekilde dalgalı bir görünüme sahiptir. 2018 yılında Türkiye genelinde %5'lik bir azalma varken sağlık sektöründe %140'lık oranla büyük bir artış gerçekleşmiştir. 2018 yılı sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayıları hesaplanırken, 2017 yılında iş kazası geçirdiği halde sürekli iş göremezlik geliri 2018 yılında bağlananlar da hesaba katılmaktadır. Sağlık sektöründe 2018 yılında sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayılarındaki artış, 2017 ve 2018 yıllarında sağlık sektöründe meydana gelen iş kazası sayılarındaki artışların bir sonucu olabilir.

**Tablo 3.** Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayıları

Yıllar	Türkiye Geneli				Sağlık Sektörü			
	Toplam Sürekli İş Göremezlik Geliri Bağlananlar				Toplam Sürekli İş Göremezlik Geliri Bağlananlar			
	Erkek	Kadın	Toplam	Değişim	Erkek	Kadın	Toplam	Değişim
2013	1.578	82	1.660	0%	1	4	5	0%
2014	1.364	57	1.421	-14%	0	1	1	-80%
2015	3.267	166	3.433	142%	4	0	4	300%
2016	4.199	248	4.447	30%	4	4	8	100%
2017	3.799	188	3.987	-10%	5	0	5	-38%
2018	3.559	214	3.773	-5%	8	4	12	140%
2019	4.107	211	4.318	14%	2	2	4	-67%



Şekil 2. Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları

Tablo 4. Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında iş kazası sonucu ölen sigortalı sayıları

Yıllar	Türkiye Geneli			Sağlık Sektörü		
	İş Kazası Sayısı Sonucu Ölen Sigortalı Sayısı			İş Kazası Sayısı Sonucu Ölen Sigortalı Sayısı		
	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam
2013	1.336	24	1.360	6	2	8
2014	1.589	37	1.626	0	1	1
2015	1.219	33	1.252	3	3	6
2016	1.369	36	1.405	5	2	7
2017	1.604	29	1.633	10	1	11
2018	1.495	46	1.541	3	3	6
2019	1.126	21	1.147	4	1	5

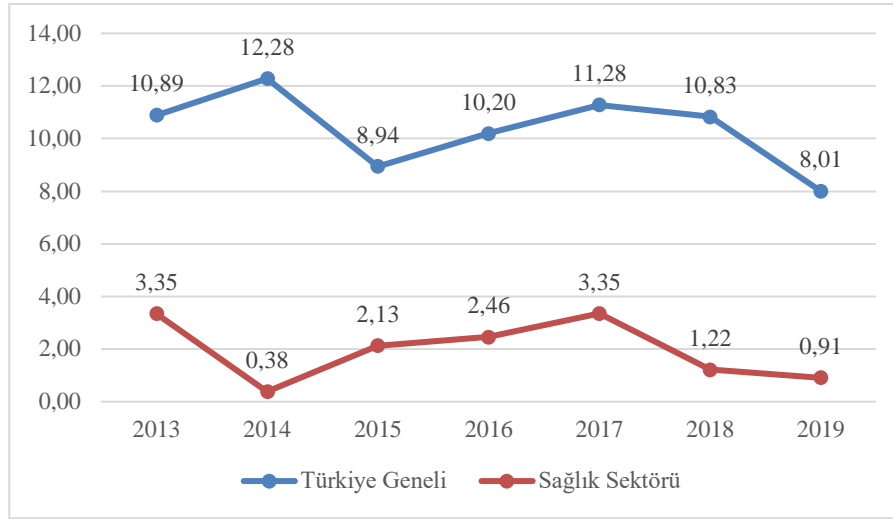
Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasındaki dönemde iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları Şekil 2'de verilmiştir. 7 yıllık dönemde iş kazası sonucu sürekli iş göremezlik sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları, Türkiye geneli ve sağlık sektöründe dalgalı bir görünüme sahiptir. 2014 yılında Türkiye genelinde %19.5 oranında azalma varken sağlık sektöründe %80.9 oranında azalma gerçekleşmiştir. 2018 yılında Türkiye genelinde %3.6 oranında azalma varken sağlık sektöründe %60 oranında artış gerçekleşmiştir.

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasındaki dönemde sürekli iş göremezlik

geliri bağlanan sigortalı sayıları arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucuna göre Türkiye geneli sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayıları ile sağlık sektöründe sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayıları arasında anlamlı bir ilişki ( $p > .05$ ) bulunamamıştır.

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında iş kazası sonucu ölen sigortalı sayıları ve ölümlü iş kazası oranları Tablo 4'te verilmiştir. İş kazası sonucu ölen sigortalı sayılarına bakıldığında, Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 7 yıllık dönemde dalgalı bir görünüm gözlemlenmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.956825



**Şekil 3.** Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasında iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasındaki dönemde iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları Şekil 3'te verilmiştir. İş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranlarına bakıldığında, Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013 ve 2019 yılları arasında dalgalı bir görünüm görülmektedir.

AB geneli ve seçili 5 AB ülkesinin 2013-2018 yılları arasındaki dönemde iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları Tablo 5'de verilmiştir. 6 yıllık dönemde Türkiye döneminde iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranlarının AB geneli ve seçili 5 AB ülkesinin insidans oranlarının çok üzerinde seyrettiği görülmektedir.

**Tablo 5.** AB 28 ülke ortalaması ve seçili AB ülkelerinin 2013-2018 yılları arasında iş kazası sonucu tüm sektörlerde ve sağlık sektöründe ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları

Tüm Sektörler	2013	2014	2015	2016	2017	2018
AB-28 Ülke Ort.	1.78	1.83	1.83	1.69	1.65	1.63
Türkiye	10.89	12.28	8.94	10.20	11.28	10.83
Almanya	1.04	1.15	1.02	0.96	0.89	0.78
Fransa	2.96	2.7	2.57	2.74	2.64	2.74
Birleşik Krallık	0.92	0.81	0.83	0.8	0.88	0.78
Finlandiya	0.9	1.44	1.44	1.43	0.93	0.99
İspanya	1.88	1.93	2.3	1.92	1.99	1.96
Sağlık Sektörü	2013	2014	2015	2016	2017	2018
AB-28 Ülke Ort.	0.22	0.27	0.28	0.23	0.28	0.29
Türkiye	3.35	0.38	2.13	2.46	3.35	1.22
Almanya	0.07	0.07	0.22	0.19	0.15	0.12
Fransa	0.56	0.55	0.66	0.34	0.66	0.86
Birleşik Krallık	0.5	0.32	0.27	0.31	0.31	0.26
Finlandiya	0	0	0	0.53	0	0.51
İspanya	0.11	0.23	0	0	0	0

Kaynak: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw\\_n2\\_02/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw_n2_02/default/table?lang=en) Erişim tarihi:29.05.2021

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.956825

AB genelinde iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranında 2013 yılına göre 2018 yılında %8.4 düşüş gözlenirken Türkiye genelinde ise % 0.55 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Aynı oran Almanya için % -25, Fransa için %-7.4, Birleşik Krallık için %-15.2, Finlandiya için %10 ve İspanya için %4.2 olarak hesaplanmıştır. 2019 yılı baz alındığında ise Türkiye'deki düşüş oranı %26.4 olarak hesaplanmaktadır. Ülkemizde iş kazası insidans oranı artmasına rağmen ölümlü iş kazası oranlarında iyileşme olduğu görülmektedir.

AB geneli ve seçili 5 AB ülkesinin sağlık sektöründe 2013-2018 yılları arasındaki dönemde iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranları Tablo 5'de verilmiştir. AB sağlık sektöründe iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranında 2013 yılına göre 2018 yılında %31.8 artış gözlenirken Türkiye sağlık sektöründe ise %63.6 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Aynı oran Almanya için %71.4, Fransa için %53.6 ve Birleşik Krallık için %-48 olarak hesaplanmıştır. Türkiye sağlık sektöründe iş kazası insidans oranı artmasına rağmen ölümlü iş kazası oranlarında iyileşme olduğu görülmektedir.

Türkiye geneli ve sağlık sektöründe 2013-2019 yılları arasındaki dönemde iş kazası sonucu ölen sigortalı sayıları arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucuna göre Türkiye geneli iş kazası sonucu ölen sigortalı sayıları ile sağlık sektöründe iş kazası sonucu ölen sigortalı sayıları arasında anlamlı bir ilişki ( $p>.05$ ) bulunamamıştır.

Çeşitli standartlar ve yasal düzenlemelerde sağlık kurumlarında risk değerlendirmesi yapılması, gerekli önlemlerin alınması ve çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin verilmesi gerektiği belirtilmiştir (Hasta ve Çalışan Güvenliği Yönetmeliği, 2011; JCI, 2017; SKS, 2020). Sağlık kurumlarında çalışanların iş sağlığı ve güvenliği ihtiyaçlarının belirlenmesi, gerekli önlemlerin alınması ve eğitimlerin verilmesi iş kazası sayısının azalması yönünde olumlu katkı sağlayacaktır. Benzer şekilde bu durum sağlık sektörü için kaza insidans oranlarının düşmesini sağlayacaktır.

## SONUÇLAR

İş kazaları tüm sektörlerde olduğu gibi sağlık sektöründe de ciddi sorunlara yol açmaktadır. İş kazaları sonucunda ölümler ve kalıcı sakatlıklar

meydana gelebilmektedir. Türkiye genelindeki tüm sektörler ile sağlık sektöründe meydana gelen iş kazalarına ait istatistiksel bilgilerin analizinin yapıldığı bu çalışmada 3 önemli sonuca varılmıştır.

Birincisi, 2019 yılında Türkiye genelinde iş kazası geçiren 422.463 çalışanın 14.241'i sağlık sektöründe çalışmaktadır. Türkiye genelinde 2013 yılına göre 2019 yılında iş kazası geçiren sigortalı sayısı %120.7 oranında artarken, sağlık sektöründeki artışın %1118.8 olduğu görülmektedir. İkinci olarak, Pearson korelasyon analizi sonucunda Türkiye geneli iş kazası geçiren sigortalı sayıları ile sağlık sektöründe iş kazası geçiren sigortalı sayıları arasında anlamlı ve pozitif yönde bir ilişki olduğu ( $r=.961$ ,  $p<.01$ ) belirlenmiştir. Üçüncü olarak, sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı sayılarında Türkiye geneli ve sağlık sektöründe yıllar içinde benzer şekilde değişimler görülmekle beraber 2018 yılında sağlık sektöründe %140'luk oranla büyük bir artış görülmektedir.

Kaza insidans oranları dikkate alındığında 2013, 2014 ve 2015 yıllarında AB ortalaması ile Türkiye kaza insidans oranları yakın değerlerde iken son yıllarda Türkiye kaza insidans oranları ciddi şekilde artmıştır. Bunun yanısıra, Fransa ve İspanya'nın kaza insidans oranlarının Türkiye kaza insidans oranlarına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Sağlık sektörüne bakıldığında 2013 yılını takip eden yıllarda Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranlarının AB ortalamasına oranla daha düşük seviyelerde seyrettiği fakat 2016 yılından sonra Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranları AB ortalaması üzerine çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca 2018 yılında Türkiye sağlık sektörü kaza insidans oranının Fransa sağlık sektörünün kaza insidans oranından da az olduğu görülmektedir.

İş kazası sonucu ölüm sayısı kaza insidans oranları incelendiğinde 6 yıllık dönemde Türkiye iş kazası sonucu ölüm sayısı için hesaplanan kaza insidans oranlarının AB ortalamasının çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sağlık sektöründe iş kazası sonucu ölüm sayısı kaza insidans oranlarına bakıldığında, AB genelinde %31.8 artış gözlenirken Türkiye'de %63.6 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Türkiye genelinde ve sağlık sektöründe iş kazası insidans oranı artmasına rağmen ölümlü iş kazası oranlarında iyileşme olduğu görülmektedir.

Sonuçlara göre sağlık sektöründeki iş kazası oranlarındaki artışlar, bu sektörde iş sağlığı ve güvenliğine daha çok dikkat edilmesi gerektiğini



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.956825

göstermiştir. İSG programlarının, sağlık alanındaki kuruluşlara daha iyi entegre edilmesi ve iyileştirilmiş çalışma koşullarına ihtiyaç olduğu aşikardır. Son olarak iş kazalarını önlemek veya azaltmak için kazaya neden olan faktörlerin detaylı araştırması, sistemsel iyileştirmeler yapılması, gerekli düzeltici önlemler alınması ve sürekli olarak önlemlerin etkin bir şekilde uygulanıp uygulanmadığının düzenli olarak kontrol edilmesi önerilmektedir.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/ Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

### ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Abbasoğlu, S., Emiroğlu, C., İlhan, N.M., Koşar, L., Kesedar, Ş. ve Müezzinoğlu, A. (2006). Sağlık çalışanlarının sağlığı kime emanet?. Toplum ve Hekim, 21(3): 173-179.
- Aksan Davas, H.A. (2005) Ege üniversitesi tıp fakültesinde çalışan hemşirelere yönelik iş kazası kayıt sisteminin geliştirilmesi ve izlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Bahçecik, N. Ve Öztürk, H. (2009). The occupational safety and health in hospital from the point of nurses. Collegium Antropologicum, 33: 1205-14.
- Bektaş, G., İşçi, E. ve Haçıroğlu, M. (2005) Tıbbi atıkların çevre sağlığına etkileri ve haseki devlet hastanesi ve i.ü. kardiyoloji enstitüsü"nde hasta başına düşen tıbbi atık miktarının tespiti ile ilgili bir araştırma. Hastane Yönetimi Dergisi, 1: 24-31.
- Bertan, M. ve Çakır, B. (1997). Halk sağlığı yönünden kazalar. halk sağlığı temel bilgiler. İçinde: Bertan M. ve Güler Ç. (ed), Ankara: Güneş Kitabevi.
- Budd, J.W. and Spencer, D.A. (2015). Worker well-being and the importance of work: bridging the gap. Eur J Ind Relat.;21(2):181-96. <https://doi.org/10.1177/0959680114535312>
- Cabral, L.A.A., Soler Z.A.S.G. and Lopes J.C. (2014). "Dual causation accident": a third type of work-related accident and its importance for occupational health surveillance. Cienc Saude Coletiva.;19(12):4699-708. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141912.07722013>
- Cervatoğlu, E. (2003). İş sağlığı ve güvenliği konusunda bir değerlendirme. TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 4(13): 23-29.
- Chen, H., Hou, C., Zhang, L. and Li, S. (2020). Comparative study on the strands of research on the

- governance model of international occupational safety and health issues, Safety Science, Volume 122, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575351930534X>.
- Dindar, İ., İşsever, H. ve Özen, M. (2004). Edirne merkezindeki hastanelerde görev yapan hemşirelerde iş ile ilgili rahatsızlıklar ve konulan tanımlar. Hemşirelik Forumu Dergisi, 7(1): 59-63.
- Dokuzoğuz, B. (2008) sağlık çalışanlarının meslek riskleri ve kontrolü. Onuncu Ulusal İç Hastalıkları Kongre Kitabı, 15-19 Ekim, Antalya, s. 155-156.
- Eurostat, (2013). <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5926181/KS-RA-12-102-EN.PDF/56cd35ba-1e8a-4af3-9f9a-b3c47611ff1c> (Erişim tarihi: 12.03.2021)
- Hutfmder (Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Mezunlar Derneği) (1991). Sürekli Tıp Eğitimi Seminerleri-II Sağlık Çalışanlarının Meslek Riskleri, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Mezunlar Derneği Yayın No:2.
- Hasta ve Çalışan Güvenliği Yönetmeliği (2011). Hasta ve Çalışan Güvenliğinin Sağlanmasına Dair Yönetmelik, 06.04.2011 Tarihli 27897 Sayılı Resmi Gazete.
- ILO (2009). Facts on safety and health at work, world day for safety and health at work 2009.
- JCI (2017). Joint Commission International Hastane Akreditasyonu Standartları, 6. Basım.
- Karaca, Y. (2013). Sağlık çalışanlarında iş sağlığı ve güvenliği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul.
- Karakulle, İ. (2012). Kobilerde iş sağlığı ve iş güvenliği ve bir araştırma. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- NIOSH (1988). Guidelines for protecting the safety and health of healthcare workers, national institute of occupational safety and health, Washington, s.3/5-16; /39-72.
- Odaman, S. (2005). 4857 iş kanunu döneminde iş sağlığı ve güvenliği hükümlerinin önemi ve ohsas 18001 yönetim sistemi. Mercek Dergisi, 10 (39): 132-138.
- Oliveira, E.C., Ponte, M.A.C., Dias, M.A.S., Silva, A.S.R., Torres, A.R.A. and Ferreira, V.E.S. (2015). Análise epidemiológica de acidentes de trabalho com exposição a material biológico entre profissionais de enfermagem. Sanare;14(01):27-32. Available from: <https://sanare.emnuvens.com.br/sanare/article/view/603/320>
- Özay, M.E. ve Coşkun, S. (2017). Analysis of occupational health and safety data between 2003 -2015 in Turkey. Journal of Business, Economics and Finance –JBEP, 6(4):375-385. Doi: 10.17261/Pressacademia.2017.770
- Öztek, Z. (2001). Sağlıkta kavramlar. Yeni Türkiye Dergisi, 39(7):294-298.


Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.956825

- SGK İstatistik Yıllıkları,  
[http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari) (Erişim tarihi: 17.02.2021)
- SKS (2020). Sağlıkta Kalite Standartları Hastane, 1. Baskı, Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Sağlıkta Kalite, Akreditasyon ve Çalışan Hakları Dairesi Başkanlığı.
- Soyer, A. (1993). Dünya'da ve Türkiye'de sağlık personelinin temel sorunları. Ankara: Türk Tabipleri Birliği Yayınları.
- Taşçıoğlu, İ. (2007). Lüleburgaz Devlet Hastanesi ve Lüleburgaz 82. Yıl Devlet Hastanelerinde iş ve çalışma ortamından kaynaklanan riskler ve bu riskleri hemşirelerin algılama düzeylerinin saptanması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Tehlike Sınıfları Tebliği (2012). İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği 26.12.2012 Tarihli 28509 Sayılı Resmi Gazete.
- TMMOB (2012). İş Sağlığı ve İş Güvenliği, Oda Raporu, (4. Baskı) Yayın no: MMO/590, Ankara.
- Uçak, A., Kiper, S. ve Karabekir, H.S. (2011). Sağlık çalışanlarının karşılaştıkları iş kazaları ve eğitimin iş kazalarını azaltma durumuna etkisi. Bozok Tıp Dergisi, 1(3): 7-15.
- Uğurlu, N., Yılmaz, B. ve Karabacak, F. (2010). İki farklı hastanede çalışan hemşirelerin mesleki risk faktörlerinin belirlenmesi. İ.Ü. F.N. Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi, 18(1): 19-25.
- Yerebakan, M. (2000) Özel Hastaneler Araştırması. İstanbul Ticaret Odası Yayınları, Yayın No:2000/26: s.18-23.
- Yılmaz, E. ve Özkan, S. (2006). Bir ilçede çalışan hemşirelerin sağlık sorunları ve yaşam alışkanlıklarının değerlendirilmesi. Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi, 1(3): 81-99.
- 5510 Sayılı Kanun (2006) Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu 16.06.2006 Tarihli 26200 Sayılı Resmi Gazete.
- 6331 Sayılı Kanun (2012) İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu 30.06.2012 Tarihli 28339 Sayılı Resmi Gazete.

## Katkılı Zeminlerde Taşıma Gücünün İstatistiksel Yöntemlerle Tahmini

Ömer Faruk Altuntaş<sup>1</sup>, Gamze Bilgen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Programı, Zonguldak, Türkiye  
omraltuntas@gmail.com , \*bilgamze@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:08.09.2021, Makale kabul tarihi: 23.03.2022

### Öz

Bu çalışmada, katkılı zeminlerde taşıma gücü değerleri ile Proctor değerleri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu amaçla, California Taşıma Oranı (CBR) ve serbest basınç dayanımı (UCS) bağımlı değişkenlerinin, maksimum kuru yoğunluk (MDD) ve optimum su muhtevası (OWC) bağımsız değişkenleri ile ilişkisinin olup olmadığı, çok değişkenli regresyon analizi (MLR) kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan veri setinde yazarlar tarafından laboratuvarında yapılan deneysel çalışmaların yanı sıra literatürdeki araştırma sonuçlarından da yararlanılmıştır. MLR analizleri sonucunda ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir. Elde edilen farklı bağıntılardan, UCS değerinin bağımsız değişken ve CBR, OWC ve MDD değerinin bağımlı değişken olduğu korelasyonun belirleyicilik katsayısı %82 olarak tespit edilmiştir. Geliştirilen ampirik korelasyonların, zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılan katkıların, zeminin CBR ve UCS değerlerinde yapacağı değişikliğin, özel ekipman gerektiren, zahmetli ve uzun zaman alan deneysel çalışmalar yapmadan, sadece Proctor deneyi sonucu ile tahmin edilmesine katkı sağlaması umulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** CBR, katkılı zeminler, regresyon analizi, UCS

## Estimation of The Bearing Capacity of Treated Soils by Statistical Methods

### Abstract

In this study, the relationship between the bearing capacity parameters and the Proctor values of the treated soils was examined. Therefore, multiple linear regression (MLR) was used to determine whether there was a relationship between dependent variables such as California bearing ratio (CBR) and unconfined compressive strength (UCS) and independent variables such as maximum dry density (MDD) and optimum water content (OWC). In the data set used in the research, besides the experimental studies carried out by the authors in the laboratory, the results of the research in the literature were also used. Empirical correlations were developed as a result of MLR analyses. From the different correlations obtained, the coefficient of determination of the correlation was determined as 82%, where the UCS value was the independent variable and the CBR, OWC and MDD value was the dependent variable. It is expected that the empirical correlations developed will contribute to the estimation of the changes in the CBR and UCS values of the soil by the additives used only with the result of the Proctor test without performing laborious and time-consuming experimental studies that require special equipment.

**Keywords:** CBR, treated soils, Regression analysis, UCS

### GİRİŞ

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma yönteminde (USCS) zeminler dane dağılımına göre (granülometrik olarak) sınıflandırılırlar. Çakıllar ve kumlar, iri daneli zeminler (kohezyonsuz zeminler) sınıfına girerler ve sahip oldukları geoteknik özellikler bakımından yol ve dolgu çalışmalarında kullanım için standartlara uygun agrega olarak değerlendirilen malzemelerdir (Aksoy ve ark. 2018). Killi ve siltli zeminlerin oluşturduğu ince daneli

zeminler (kohezyonlu zeminler) ise standartlarca belirlenmiş olan geoteknik özellikleri taşımadığı için yol ve dolgu çalışmalarında, iyileştirme yapılmadan kullanılmasına izin verilmeyen malzemelerdir (Bilgen 2021; Houlihan ve ark. 2021; Meskini ve ark. 2021). Bu sebeple, yol ve dolgu çalışmaları yapılan uygulama alanında killi zemin bulunması durumunda, ya bu zayıf zemin sökülüp uzaklaştırılarak yerine iri daneli zeminler yerleştirilir

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.993022

yada killi zeminin yerinde iyileştirilmesi için iyileştirme (stabilizasyon) çalışmaları gerçekleştirilir(Bilgen ve ark. 2012; Iravanian and Ahmed 2021).Günümüzde doğal kaynakların azalması, ekolojik dengenin korunması gibi etmenler, katkı malzemeleri ile yapılan yerinde iyileştirme çalışmalarını tercih sebebi yapmıştır (Bilgen ve ark. 2013; Sharma ve ark. 2021).

Kohezyonlu zeminleri yerinde iyileştirilmek için üzerinde en çok çalışma yapılan katkı malzemesi kireçtir (Jacques ve ark. 2021). Kireci, çimento, uçucu kül, yüksek fırın curufu, mermer tozu, cam tozu gibi malzemeler takip etmektedir(Bilgen ve ark. 2012; Kavak ve ark. 2012; Bilgen 2020).

Kullanılan katkı malzemeleri, kimyasal olarak zemini iyileştirdiğinden, uygulandığı zeminin mineral yapısına bağlı olarak her zemin için farklı seviyelerde etki yapar. Bu sebeple, her bir uygulama öncesi, bir seri geoteknik deneyin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu da uzun ve maliyetli bir süreç olarak görülebilir. Dolayısı ile, nispeten daha az maliyetli ve süre olarak daha az zaman alan laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ile CBR ve UCS değerlerinin tahmin edilebiliyor olması, çalışmalarda önemli ölçüde zaman kazanılmasına aracı olacaktır başka bir deyiş ile kolaylık sağlayacaktır.

Literatürde, geoteknik deney sonuçları arasındaki ilişkilere istatistiksel olarak yaklaşımda bulunan ve bu deney sonuçları arasında bağıntılar kurmayı hedefleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: Chen ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada kireç, uçucu kül ve çimento ile stabilize edilen zeminlere ait regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ghosh (2010) tarafından yapılan çalışmada, CBR değerini tahmin etmek üzere istatistiksel yaklaşımlar sergilenmiş ve kireç ve uçucu külün yanı sıra alçı taşı ile stabilize edilen zeminler de ele alınmıştır.Adefemi and Wole (2013) ise regresyon analizi aracılığı ile, kireçle stabilize edilmiş zemin özelliklerinden faydalanarak CBR değerinin belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Amir-Faryar ve ark. (2017) siltli zeminlerde çimento katkısı ile CBR bağımsız değişkenlerinden UCS bağımlı değişkenini tahmin etmeye yönelik araştırmalar gerçekleştirmiştir. Patel and Patel (2013), farklı bölgelerden alınmış katkısız zeminlerde gerçekleştirdiği deneylerden elde ettiği veriler

doğrultusunda MDD ve OWC' ye bağlı olarak UCS ve CBR değerlerini tahmin etmeye yönelik çoklu regresyon analizi gerçekleştirmiştir. Yurtcu and Özocak (2016)sıkışma indisinin istatistiksel ve yapay zeka yöntemleri ile tahmin edilmesi konularını ele almıştır.

Sunulan bu araştırmanın amacı, zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılan katkıların, dayanıma etkisinin tahmin edilmesi için ampirik bir denklem geliştirmektir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada geliştirilen ampirik bağıntıda, girdilerin belirlenmesinde deneysel çalışma yapılması gerekmektedir. Böylece, CBR ve UCS gibi deneylerin yapılmasına gerek kalmadan, nispeten daha kısa zamanda gerçekleştirilebilen Proctor deneyi aracılığı ile katkıların dayanıma etkilerinin belirlenebilir olması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda, istatistiksel bir yaklaşımla, Proctor deneyinden elde edilen OWC ve MDD verileri kullanılarak çok değişkenli regresyon analizi (MLR) gerçekleştirilmiş ve ampirik denklemler üretilmiştir.

## TAŞIMA GÜCÜNÜN LABORATUVAR ORTAMINDA BELİRLENMESİ

Katkı kullanımı ile yapılan çalışmalarda, farklı oranlarda katkı malzemesi ile karıştırılan zeminler ve katkısız zeminler bir takım geoteknik deneylere tabi tutulur. Böylece katkılı zeminin taşıma kapasitesindeki artış belirlenmiş olur.

Geoteknik açıdan, taşıma gücü özelliklerinin laboratuvar ortamında belirlenmesi için yapılan deneyler Kaliforniya taşıma oranı (CBR), kesme kutusu, üç eksenli basınç dayanım (UU, CU, CD) deneyleri ve serbest basınç dayanımı (UCS) deneyleridir. CBR ve UCS değerleri, yol ve dolgu çalışmaları için, diğerlerine göre daha yaygın olarak kullanılan deneylerdir(Aksoy ve Gor 2017; Tajdini ve ark. 2017; Mohanty ve ark. 2021). Nitekim Amerika karayolları zemin sınıflandırma sistemi (AASHTO) yol çalışmalarında kullanılacak zeminleri CBR değerlerine göre belirlemektedir (Bilgen ve ark. 2020). Bu deneyler ile ilgili detaylar 2.1, 2.2 ve 2.3 nolu başlıklar altında sunulmaktadır.

### Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi

CBR Deneyi(ASTM D1883 2007)özellikle yol yapımında kullanılacak olan malzemelerin uygunluğunun belirlenmesinde, yol tabanı zemininin mekanik davranışını değerlendirmek amacı ile

kullanılan bir penetrasyon testidir. Deney tipik olarak, sıkıştırılmış zemin numuneleri üzerinde laboratuvarda yapılırken, arazi CBR deneyi, zemin yüzeyinde veya kazılmış çukur içerisinde düz bir yüzeyde de gerçekleştirilir. Bu çalışmada arazi CBR deneyleri değil, laboratuvar CBR deneyleri verileri kullanılmıştır. Laboratuvar CBR deneyi, tercihen Proctor deneyi (ASTM D1557 2003)sonucunda bulunan optimum su içeriği ile hazırlanmış olan ortalama 6 kg'lık zemin numunesi ile gerçekleştirilir.Hazırlanan numune, 6 inç (152 cm) çapında,filtre kağıdı yerleştirilmiş, delikli taban plakası olan özel CBR kalıplarında sıkıştırılır. Zemin numunesinin arazide maruz kalacağı statik gerilmeye temsil eden bir sürşarj yükü altında, 96 saat (4 gün) su banyosunda (kür havuzda) bekletilir.Bu süre sonunda sudan çıkarılan numune deneye tabi tutulur. Deney esnasında, 49.63 mm (1,954 in) çapa sahip olan bir piston, 1,27 mm/ dk. (0,05 in/dk.) hızla numune içerisine batırılır. Böylece, pistonun batma derinlikleri ve bu derinlikler için ne kadar yük uygulanması gerektiği belirlenir. 2,54 mm ve 5,08 mm batma (penetrasyon) derinliğine karşılık gelen basınç hesaplanır. Elde edilen basınç değerleri, standartlarla belirlenmiş olan değere oranlanır. Standart değerler, aynı piston ile düzgün gradasyona sahip kırma taştan hazırlanan bir numunede, aynı penetrasyon derinliğine karşılık gelen basıncı temsil etmektedir. Böylece zemine ait CBR değeri belirlenmiş olur. CBR bir oran olduğu için “%” olarak ifade edilir. CBR deneyi, kilden ince çakıla kadar, her tür zeminlere uygulanabilir.

Katkıların CBR değerine etkilerinin belirlenmesi için, hazırlanan numunenin su havuzuna konmadan ve deneye tabi tutulmadan önce, 21 (± 3)°C sıcaklıkta ve %95 nemli ortamda 0, 7, 28, 90 günlük periyotlarda bekletilmesi (kürlenmesi), puzolanik etkinin görülmesi için en uygun yöntemdir.

Tablo 1’de(Eren and Filiz 2009) CBR değerlerine göre zeminlerin yol ve dolgu çalışmalarında kullanımı ile ilgili uygunluk dereceleri gösterilmektedir. CBR değeri %0 ila %5 arasında olan zeminler çok zayıf zemin, %5-%8 arası zeminler zayıf zemin olarak adlandırılırlar. Yol yapımında alt temel malzemesi olarak kullanılacak zeminlerin %25 veya daha yüksek CBR değerine sahip olması tercih edilir.

### Serbest basınç dayanımı (UCS) deneyi

UCS deneyi, zeminlerin hızla yüklenerek kırılması sureti ile kayma dayanımını belirlemeye aracı olan bir deneydir. UCS değeri “ $q_u$ ” olarak da sembolize edilir (ASTM D2166 2013). UCS, bozulmamış zemin örneklerinde uygulanabildiği gibi yeniden kalıplaşmış veya sıkıştırılmış zemin örneklerinde de uygulanabilir. Boy çap oranı 2 olan numunelere uygulanan deneyde, numune 0.5 ila 2 mm/sn. hızla itilen piston tarafından kırılıncaya kadar yüklenir. Kırılma anında taşıdığı yükün numunenin kırıldığı andaki alanına bölünmesi ile UCS değeri belirlenmiş olur. Tablo 2’ de zeminlerin kıvamı ile UCS değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

**Tablo 1.** CBR değerlerine göre zeminlerin yol alt yapında kullanım ölçütleri (Eren and Filiz 2009)

CBR Değeri	Derecesi
> %24	Çok iyi
%8 - %24	İyi
%5 - %8	Orta
%3 - %5	Kötü
%2 -%3	Çok kötü

Katkılı zeminlerin UCS değerlerinin belirlenmesinde, CBR deneyinde olduğu gibi hazırlanan numunelerin deneye tabi tutulmadan önce 21 (± 3)°C derece ve %95 nemli ortamda 0, 7, 28, 90 günlük periyotlarda bekletilmesi katkıların puzolanik etkisinin görülmesi için en uygun yöntemdir.

**Tablo 2.** Kıvamlarına göre kilerde görülen UCS değerleri (Herrmann and Bucksch 2014)

Kıvam	UCS (kN/m <sup>2</sup> )
Çok Sert Kil	> 400
Sert Kil	200 – 400
Orta Sert Kil	100 – 200
Orta Yumuşak Kil	50 – 100
Yumuşak Kil	25 – 50
Çok Yumuşak Kil	< 25

### Proctor Deneyi

Özellikle dolgu yapımında kullanılan Proctor deneyi, zeminlerin su-yoğunluk ilişkilerini tanımlamakta kullanılır. Standart (ASTM ASTM D698-12 2003) ve modifiye (ASTM D1557 2003) şeklinde farklı uygulamaları olan Proctor deneyi, zeminin en iyi şekilde sıkışması için gerekli olan su

muhtevasını (OWC) ve bu su muhtevasındaki en büyük kuru birim hacim ağırlığını (MDD) belirlemeye aracı olur. ASTM standartlarına göre, standart Proctor deneyinde zemin, 3 tabakada 2.5 kg ağırlığındaki tokmak ile 1000 cm<sup>3</sup> hacmindeki kalıpta farklı su muhtevalarında sıkıştırılır. Modifiye Proctor deneyinde ise bu değerler, sırası ile 5; 4.5 kg ve 1000 cm<sup>3</sup> şeklindedir. Farklı su muhtevalarında, ortalama 5 kez tekrarlanan deney sonucu elde edilen grafikte, en yüksek kuru birim hacim ağırlığı ve bu değeri veren su muhtevası Proctor değerleri olarak kabul edilir.

### MALZEME VE YÖNTEM

İstatistiksel çalışma yapılabilmesi için ilk olarak bir veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde toplamda 210 adet deneysel çalışma sonucu kullanılmıştır. Tablo 5 de sunulan veri seti, yazarlar tarafından yapılan deneysel çalışmaların yanı sıra, literatürde bulunan 23 farklı çalışmadan derlenmiştir. Belirtilen çalışmaların seçiminde, zemin iyileştirme amacı ile farklı katkıların kullanılmış olması ve bu katkıların Proctor, CBR ve UCS değerlerine etkisinin deneysel olarak belirlenmiş olması hususu dikkate alınmıştır.

Oluşturulan veri seti üzerinde çoklu doğrusal regresyon modeli (MLR) analizleri yapılmıştır. MLR, y bağımlı değişken; x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ... , x<sub>n</sub> bağımsız değişkenler olmak üzere değişkenler arasındaki sebep-sonuç ilişkisini matematiksel bir model olarak ortaya koyan istatistiksel bir yöntemdir (Tabar ve ark. 2021). MLR' de amaç açıklayıcı (bağımsız) değişken(ler) ile açıklanan (bağımlı) değişken arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasıdır.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k \quad (1)$$

MLR analizinde değişkenler arasındaki ilişkinin biçimini veren regresyon denkleminin genel formülü denklem (1) ile ifade edilebilir. Burada y ve x<sub>1</sub>, ...x<sub>k</sub> gözlenebilen değerler ve regresyon katsayılarını; β<sub>j</sub> parametreleri x<sub>j</sub>' lerdeki birim değişim için y'de olması beklenen değişimi temsil etmektedir. Başka bir deyiş ile bu denklem aracılığı ile, değişken kategorisini belirli bir düzeyde tutup, bu düzeye göre diğer değişkenin nasıl değişim gösterdiği belirlenir. Yapılan çalışmada regresyon analizi için araştırılan model Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Regresyon analizi için araştırılan model

Bağımlı Değişken (y)	Bağımsız Değişken (x <sub>j</sub> )
UCS CBR	$\beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2$

Tablo 3 de x<sub>i</sub> değerleri MDD ve OWC, β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub> ise bilinmeyen parametreleridir. Regresyon modeline ait katsayıların anlamlı olup olmadığının araştırılması t testi ile gerçekleştirilmektedir. t istatistiğine ait anlamlılık değeri (p) dir.

p, 0.05' ten küçük olduğunda, varsayım kabul edilmekte ve modelde bulunan katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılmaktadır. p değeri istatistiksel anlamlılığın varlığının ve varsa ise var olan farklılığın kanıtının düzeyinin belirlenmesi amacı ile kullanılan bir değerdir. Anlamlılık seviyesi genellikle 0.05 ve 0.01 olarak alınmaktadır. %5 anlamlılık seviyesi %95 güven aralığını, %1 anlamlılık seviyesi %99 güven aralığını ifade etmektedir. "p" değerinin yorumlanmasındaki genel yaklaşım Tablo 4' de verilmiştir.

**Tablo 4.** "p" değerinin yorumlanması

p değeri	Yorumu
0.01 < p ≤ 0.05	İstatistiksel anlamlılık
0.001 ≤ p < 0.01	Yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık
p < 0.001	Çok yüksek istatistiksel anlamlılık
0.05 ≤ p < 0.10	Anlamlılık eğilimi (sınırdan anlamlılık)
p > 0.10	İstatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır

### SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, dayanım ve Proctor değerleri arasında 6 farklı korelasyon denklemi belirlenmiştir. Tüm denklemler ile ilgili standart hata, anlamlılık F testi ve olasılık P testi ile ilgili veriler Tablo 5 de sunulmuştur.

Belirlenen denklemlerin ilkinde, UCS ve CBR arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı analiz edilmiştir. Bağımlı değişken UCS ve bağımsız değişken CBR değerleri arasında yapılan regresyon analizinden elde edilen veri denklem (2)olarak gösterilmiştir.Tablo 5'de sunulan verilere göre bağımsız değişken olan UCS değeri ve bağımlı değişken olan CBR değerinin anlamlılık F değeri 4,47E-35'tir. Bu değer 0,00'a çok yakın olması değişkenler arasında anlamlılık olduğunu

göstermektedir. Denklem (2)'nin veri setinde bulunan tüm katkılı zeminlerde 0.52'lik bir belirleyiciliği vardır. Bu durumda denklem (2)'nin katkılı zeminlerin CBR tahmininde yaklaşık olarak %50 doğruluk payı olduğu söylenebilir.

İkinci aşamada, zeminin Proctor değerleri ile dayanım değerleri arasındaki ilişki analizi yapılmıştır. Bağımlı değişkenler UCS ve CBR, bağımsız değişkenler ise MDD ve OWC değerleri olarak tanımlanan regresyon analizi ile elde edilen denklemler denklem (3) ve denklem (4) olarak görülmektedir. Denklem (3)'de görüldüğü üzere bağımsız değişkenler olan MDD, OWC ve UCS değerleri, bağımlı değişken ise CBR değeridir. Denklem (3)'te analiz edilen OWC değerinin P olasılık değeri 0,0356 bulunmuştur. Bu değer, denklemdaki anlamlılık açısından olması gerekenden yüksek çıkmıştır. Bu durumda OWC değişkeni denklem (3)'e dahil edilmeyebilir. Denklem (3)'ün belirleyicilik katsayısı 0,61 olarak bulunmuştur ve bir bütün olarak sonuçların anlamlılık düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir. Denklem (4)'ün, belirleyicilik katsayısı 0,60 olarak görülmektedir. Aynı şekilde denklem (4) için OWC değişkeninin P olasılığının düşük olduğu ve bu sebeple denkleme dahil edilmesine gerek olmadığı söylenebilir. Katkılı zeminler ile CBR arasındaki ilişki denklem (5) de, UCS ile ilişkisi ise denklem (6) da görülmektedir. Denklem 5'e ait belirleyicilik katsayısı 0,82 olarak tespit edilmiştir. Denklem 5, veri setindeki gerçek değerlere en yakın sonuçlar veren denklemdir. Denklem (6)'ya ait belirleyicilik katsayısı 0,78 olarak tespit edilmiştir. Denklem (5) ve (6) için OWC değişkeninin etkisi olmadığı söylenebilir. Şekil 1 ve Şekil 2 de sırası ile 5 ve 6 nolu denklemlerin kullanılması ile elde edilen grafik ile gerçek deney sonuçlarından elde edilen grafiklerin kıyaslanması sunulmaktadır. Görüldüğü gibi hesaplanan taşıma gücü değerleri ile deneylerden elde edilen veriler birbirleri ile anlamlı şekilde uyumlu görülmektedir. Nitekim geoteknik açıdan bakıldığında, OWC, istenilen MDD yi elde

etmek için, numune hazırlamada kullanılan su miktarıdır. Dolayısı ile, elde edilen denklemler geoteknik açıdan da anlamlıdır.

Daha sonraki çalışmalarda, kireç, uçucu kül, cam tozu gibi spesifik katkılar için özel olarak geliştirilmiş istatistiksel yaklaşımlar yapılmasının, konunun daha ayrıntılı bir şekilde geliştirilmesi adına uygun olacağı düşünülmektedir.

**Tablo 5.** Elde edilen korelasyonlara ait istatistiksel veriler

	R <sup>2</sup>	Standart Hata	ANOVA (Anlamlılık F testi)	Olasılık (P testi)
Denklem (2)	0,52	22,164	4,47E-35	
Sabit	-	-	-	0,4313
UCS	-	-	-	4,47E-35
Denklem (3)	0,61	19,97	1,97E-42	
Sabit	-	-	-	0,000197
MDD	-	-	-	5,01E-10
OWC	-	-	-	0,0356
UCS	-	-	-	1,39E-42
Denklem (4)	0,60	353,90	2,67E-41	
Sabit	-	-	-	3,63E-07
MDD	-	-	-	4,53E-09
OWC	-	-	-	0,0504
CBR	-	-	-	1,39E-42
Denklem (5)	0,82	10,94	3,31E-38	
Sabit	-	-	-	1,63E-06
MDD	-	-	-	3,66E-09
OWC	-	-	-	0,6054
UCS	-	-	-	3,25E-35
Denklem (6)	0,78	304,38	1,71E-33	
Sabit	-	-	-	3,51E-05
MDD	-	-	-	1,96E-06
OWC	-	-	-	0,9757
CBR	-	-	-	3,25E-35

$$CBR = 1,6442 + 0,04125 * UCS \quad (2)$$

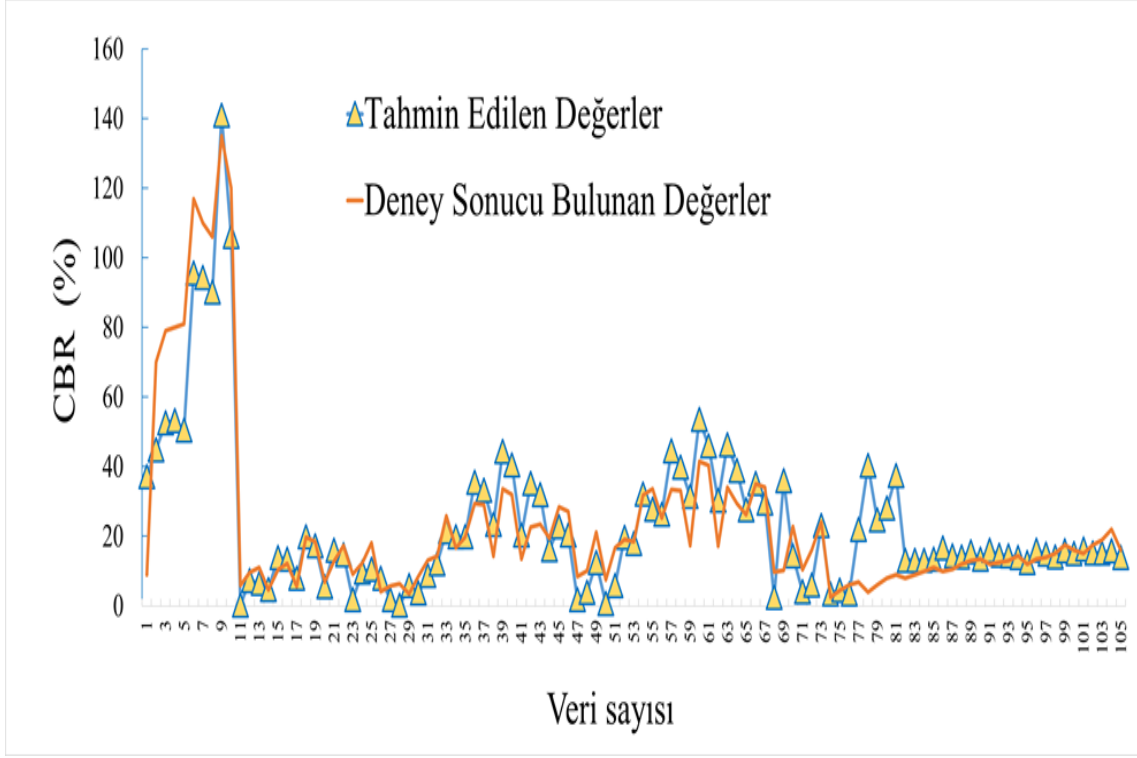
$$CBR = -29,98 + 2,567 * MDD - 0,4492 * OWC + 0,0436 * UCS \quad (3)$$

$$UCS = 715,61 - 43,115 * MDD + 7,415 * OWC + 13,698 * CBR \quad (4)$$

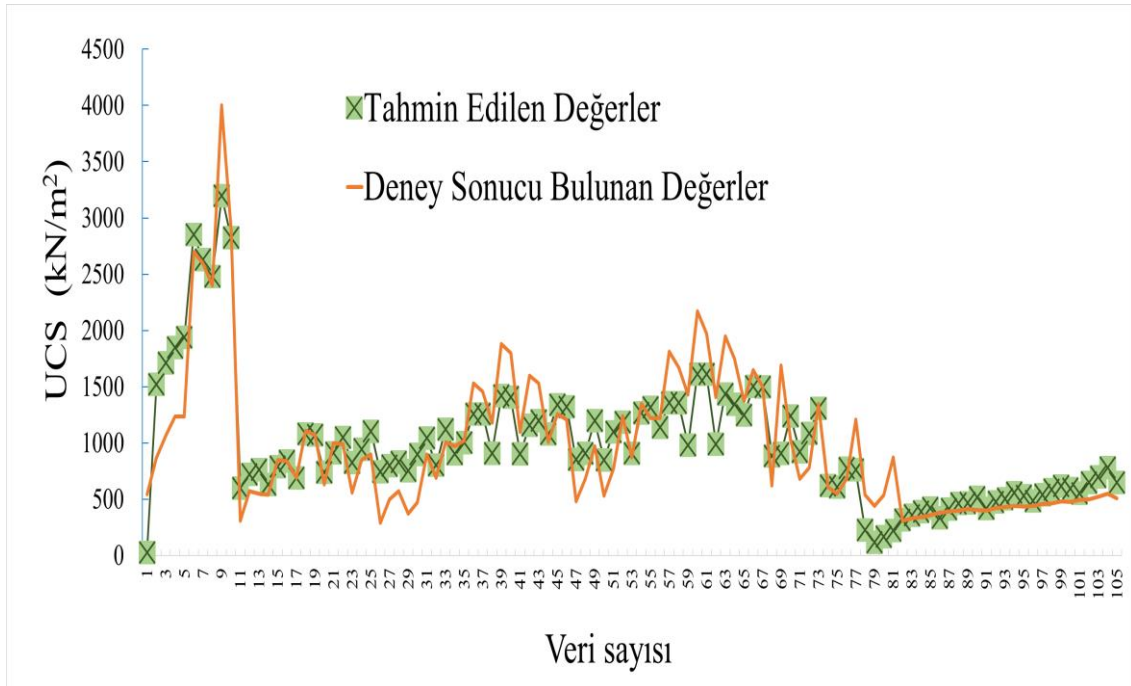
$$CBR = -113,40 + 7,094 * MDD + 0,1498 * OWC + 0,03179 * UCS \quad (5)$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.993022

$$UCS = 2761,09 - 163,80 * MDD - 0,245 * OWC - 24,603 * CBR \quad (6)$$



Şekil 1. Denklem (5)'de geliştirilen bağıntının deney sonuçları ile kıyaslanması



Şekil 2. Denklem (6)'da geliştirilen bağıntının deney sonuçları ile kıyaslanması



**Tablo 6.** Çalışmada kullanılan veri seti

Veri Sayısı	MDD kN/m <sup>3</sup>	OWC %	CBR %	UCS kN/m <sup>2</sup>
1	18.34	20.2	9	546.67
2	18.05	18.5	70	866.67
3	18.25	18.4	79	1066.67
4	17.56	19.3	80	1233.33
5	17.17	19.4	81	1233.33
6	14.92	23.5	10.57	242.14
7	14.36	25	11.27	252.99
8	14.31	25.1	12.07	257.79
9	14.14	26.3	11.87	226.36
10	14.22	26.25	11.51	224.63
11	17.27	11	2.05	116.7
12	17.36	10.7	3	140
13	17.56	10.5	7.8	152.7
14	17.75	10.1	11.05	149.4
15	17.85	9.9	9	145
16	16.3	21	1.68	60
17	16	22	1.82	65
18	15.8	24	2.25	71
19	15	25	2.7	83
20	14.6	27	3.21	95
21	14	28	3	90
22	13.4	29.2	2.8	85
23	15.6	20.4	1.6	55
24	15.8	19.8	1.8	60
25	16.2	19.4	2.3	68
26	16.5	18.9	2.7	75
27	17.1	18.4	3	82
28	17.5	18	3.5	90
29	18.1	17.6	4	98
30	15.89	23	10	200
31	14.91	26	75	1200
32	14.22	28	140	1900
33	13.24	32	185	3100
34	18.1	17	6	350
35	18.1	17	21	960
36	17	17.6	117	2700
37	17.3	16	110	2600
38	17.6	16	106	2400
39	17.6	16	135	4000
40	17.6	17	120	2900
41	14.34	25.32	2.23	73.8
42	14.05	27.12	5.85	310
43	13.84	29.31	9.52	570
44	13.80	29.92	10.99	550
45	13.66	27.05	4.63	540
46	13.55	28.55	10.34	850
47	13.52	28.8	12.22	840
48	13.42	28.07	5.49	690
49	13.20	28.78	19.81	1110
50	13.03	29.02	18.44	1070
51	13.33	28.88	6.88	630
52	13.16	29.28	12.8	1000
53	13.01	29.81	17.26	990
54	13.13	29.09	9.13	560
55	12.92	29.92	12.41	850
56	12.80	30.43	18.17	900
57	12.87	32.76	4.09	290
58	12.78	33.32	5.75	500
59	12.68	33.87	6.3	570
60	12.73	36.71	3.48	370

**Tablo 6. Devam 1**

61	12.58	36.84	8.41	470
62	12.42	37.08	13.2	900
63	18.64	11	1	220
64	19.68	9.5	3	226
65	19.62	9.5	1	214
66	14.7	11.25	10	100
67	16.6	21	59	200
68	17.0	18	65	300
69	17.1	16	68	350
70	17.2	14	74	450
71	17.3	11	95	500
72	18.3	16	100	1100
73	18.6	17	125	1190
74	18.8	18	135	1280
75	19.0	18	142	1350
76	19.2	15	155	1420
77	17.68	13.75	20.49	28.9
78	17.58	12.89	24.65	48.7
79	17.49	11.93	27.35	73.8
80	17.42	11.9	29	92.19
81	17.39	11.86	34.8	108.14
82	17.44	12.75	26.53	55.4
83	17.36	11.88	29.52	91.5
84	17.28	11.73	32.82	118.4
85	17.25	11.66	38.2	132.2
86	17.39	12.53	28.23	65.2
87	17.27	11.43	32.66	109.3
88	17.19	11.21	35.77	134.1
89	17.17	11.19	36.12	140.23
90	14.9	23.5	10.57	240
91	14.4	25	11.27	249
92	14.3	25	12.07	250
93	14.2	26.2	11.87	225
94	12.7	33	18.73	320
95	12.7	33	20.7	325
96	12.7	33	38.7	340
97	16.66	12.23	3.02	42.02
98	16.02	14.92	3.52	53.07
99	15.11	15.88	4.05	67.99
100	14.22	16.45	4.48	78.33
101	13.08	16.88	4.11	72.32
102	12.52	17.22	5.11	88.7
103	11.91	17.88	5.92	101.19
104	11.29	18.63	6.96	122.4
105	10.44	19.68	7.83	148.11
106	9.47	21.47	7.22	135.61
107	13.4	16	2.5	610
108	13.8	18	4.5	548
109	13	20	6	680
110	13.2	22	6.8	1210
111	18.8	22	4	540
112	17	24	6	440
113	17	26	8	536
114	16.8	26.7	9	870
115	13.9	19	3.5	396
116	13.2	22	4	335
117	14.6	24	4.5	600
118	14.1	26	5	486
119	18.10	14.01	3.2	155.5
120	17.66	16	5.2	283.9
121	17.56	16.1	4.8	379.4
122	17.17	14.9	4.6	372
123	17.07	14.2	4.5	341.4
124	1.93	11.57	2.65	476

**Tablo 6. Devam 2**

125	1.94	10.25	3.5	500
126	1.95	9.5	5	1000
127	1.955	9.25	4.7	900
128	1.945	10	4.8	600
129	1.955	9.25	5.2	1100
130	1.96	9	4.9	1200
131	1.955	9.5	23	1300
132	1.975	8.75	48	1500
133	1.99	8.5	38	1400
134	16.87	18.02	4.4	81.51
135	16.38	18.92	18	130.5
136	15.99	19.32	21	105
137	15.60	20.05	34	100
138	17.02	19.18	14.84	346.72
139	17.46	18.4	15.64	422.27
140	17.76	18.2	16.54	540.09
141	18.00	17.62	22.44	541.62
142	18.20	16.98	24.81	552.66
143	17.76	20.03	7.95	356.28
144	17.07	19.12	10.95	345.1
145	17.41	18.4	13.66	439.9
146	17.76	18	15.66	452.35
147	18.54	17.94	15.92	510.14
148	18.64	17.1	17.66	518.14
149	17.61	21.1	7.14	442.6
150	17.37	17	14.73	454.44
151	17.76	16.82	10.68	423.19
152	18.10	16.5	11.83	517.9
153	18.35	16.45	12.93	607.1
154	18.88	16.07	21.64	606.08
155	17.47	19.78	12.18	359.13
156	12.2	35	5	147
157	13.1	30	6	162
158	13.6	29	7	247
159	14.1	24	8	291
160	16.5	16	9	32
161	17.1	14	13	49
162	17.1	14	14	49
163	17.2	14	24	66
164	16.1	20	11	410
165	17.1	16	16	461
166	17.2	15	22	503
167	17.3	13	32	560
168	12.2	35	7	178
169	13.1	30	28	676
170	13.6	29	32	772
171	14.1	24	35	795
172	16.5	16	11	63
173	17.1	14	30	70
174	17.1	14	40	115
175	17.2	14	46	128
176	16.1	20	18	615
177	17.1	16	33	907
178	17.2	15	59	1328
179	17.3	13	62	1563
180	17.1	16.71	8.01	538
181	17.62	16.32	9.13	508
182	17.83	15.33	10.27	437
183	18.01	15.11	11.12	420
184	18.05	13.52	12.65	325
185	18.45	12.73	14.26	268
186	16.58	16.8	7	269
187	16.09	17.4	8	310
188	15.99	17.9	9	330

**Tablo 6. Devam 3**

189	15.94	18	10	340
190	15.89	18.2	11	360
191	16.28	17	10	380
192	15.89	17.8	10.5	390
193	15.79	18	12	400
194	15.94	17.6	13	415
195	15.70	18.2	13.5	405
196	16.09	17.5	12	400
197	15.79	17.9	12.5	420
198	15.70	18.3	13	430
199	15.60	18.6	14.5	440
200	15.40	18.8	12	435
201	15.89	17.8	13.5	440
202	15.65	18.4	14	460
203	15.50	18.6	15	465
204	15.70	18	17.5	480
205	15.60	18.2	16	475
206	15.70	18	15	495
207	15.50	18.6	17.5	500
208	15.40	18.8	19	520
209	15.35	19.2	22	550
210	15.25	19.5	16	510

**ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI**

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

**YAYIN ETİĞİ BEYANI**

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

**KAYNAKLAR**

- Adefemi BA, Wole AC (2013) Regression analysis of compaction delay on CBR and UCS of lime stabilized yellowish brown lateritic soil. *Electron J Geotech Eng* 18:3301–3314
- Aksoy HS, Gor M (2017) High-speed railway embankments stabilization by using a plant based biopolymer. *Fresenius Environ Bull* 25:7626–7633
- Aksoy HS, Gör M, İnal E (2018) Determination of Friction Angles Between Soil and Steel - FRP Piles. *Turkish J Sci Technol* 13:19–23
- Amir-Faryar B, Suter KE, Finnen RE (2017) Strength of Cement Treated Piedmont Residual Silty Soils. *Geotech Geol Eng* 35:1819–1830. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0211-2>
- ASTM ASTM D698-12 (2003) Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kn-m/m<sup>3</sup>)). *ASTM Stand Guid* 3:1–10. <https://doi.org/10.1520/D0698-12E01.1>

ASTM D1557 (2003) Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))

ASTM D1883 (2007) Standard test method for California bearing ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils

ASTM D2166 (2013) Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil

Bilgen G (2021) Sürdürülebilir çevre kavramı çerçevesinde inşaat ve yıkım atıkları (Mühendislik ve Multidisipliner Yaklaşımlar). *Güven Plus Gurup A.Ş. Yayınları*

Bilgen G (2020) Utilization of powdered glass as an additive in clayey soils. *Geotech Geol Eng* 38:3163–3173. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01215-7>

Bilgen G, Aksoy SH, Cana Ö (2013) Effect of marble dust on consistency limits and compressibility of a clayey soil (in Turkish). In: 5. Geotechnical Symposium, Adana, Turkey

Bilgen G, Houlihan M, Ryoo S, et al (2020) Hydraulic and environmental compatibility of RCA with filters and subgrades in highways. *Environ Geotech* 1–13. <https://doi.org/10.1680/jenge.20.00040>

Bilgen G, Kavak A, Çapar ÖF (2012) Düşük plastisiteli bir kilde katkı olarak çelikhane curufunun kullanılması ve kireç ile




Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.993022

- etkileşiminin araştırılması. *Karaelmas Sci Eng J* 2:30–38.  
<https://doi.org/10.7212/zkufbd.v2i2.92>
- Chen Y, Li Z, Wang X (2009) Research on rapid curing technology of lime-fly ash-cement stabilized macadam. In: *ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management-ASCE*. pp 357–364
- Eren Ş, Filiz M (2009) Comparing the conventional soil stabilization methods to the consolid system used as an alternative admixture matter in Isparta Dari{dotless}dere material. *Constr Build Mater* 23:2473–2480.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.01.002>
- Ghosh A (2010) Characteristics and bearing ratio of pond ash stabilized with lime and phosphogypsum. *J Mater Civ Eng* 22:343–351.  
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000028](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000028)
- Herrmann H, Bucksch H (2014) *Soil Mechanics and Foundation Engineering*
- Houlihan M, Bilgen G, Dayioglu AY, Aydilek AH (2021) Geoenvironmental evaluation of RCA-stabilized dredged marine sediments as embankment material. *J Mater Civ Eng* 33:04020435.  
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003547](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003547)
- Iravanian A, Ahmed I ud din (2021) Geoenvironmental solution of plastic solid waste management using stabilization process. *Environ Earth Sci* 80:1–7.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-021-09429-5>
- Jacques D, Phung QT, Perko J, et al (2021) Towards a scientific-based assessment of long-term durability and performance of cementitious materials for radioactive waste conditioning and disposal. *J Nucl Mater* 557:153201.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2021.153201>
- Kavak A, Bilgen G, Capar OF (2012) Using ground granulated blast furnace slag with seawater as soil additives in lime-clay stabilization. In: *ASTM Special Technical Publication*. pp 481–497
- Meskini S, Samdi A, Ejjaouani H, Remmal T (2021) Valorization of phosphogypsum as a road material: Stabilizing effect of fly ash and lime additives on strength and durability. *J Clean Prod* 323:129161.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129161>
- Mohanty S, Roy N, Singh SP, Sihag P (2021) Effect of industrial by-products on the strength of stabilized dispersive soil. *Int J Geotech Eng* 15:405–417.  
<https://doi.org/10.1080/19386362.2019.1654281>
- Patel MA, Patel HS (2013) Laboratory assessment to correlate strength parameter from physical properties of subgrade. *Procedia Eng* 51:200–209.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.029>
- Sharma M, Satyam N, Reddy KR (2021) Rock-like behavior of biocemented sand treated under non-sterile environment and various treatment conditions. *J Rock Mech Geotech Eng* 13:705–716.  
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.11.006>
- Tabar ME, Başara AC, Şişman Y (2021) Çoklu Regresyon ve Yapay Sinir Ağları ile Tokat İlinde Konut Değerleme Çalışması. *Türkiye Arazi Yönetimi Derg* 3:1–7.  
<https://doi.org/10.51765/tayod.832227>
- Tajdini M, Nabizadeh A, Taherkhani H, Zartaj H (2017) Effect of Added Waste Rubber on the Properties and Failure Mode of Kaolinite Clay. *Int J Civ Eng* 15:949–958.  
<https://doi.org/10.1007/s40999-016-0057-7>
- Yurtcu Ş, Özocak A (2016) İnce daneli zeminlerde sıkışma indisi'nin istatistiksel ve yapay zeka yöntemleri ile tahmin rdilmesi. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 31:597–608.  
<https://doi.org/10.17341/gummfd.95986>

## Investigation of Magnetic Properties of Poly Vinyl Chloride Composites Prepared Using Different Ratios of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Maghemite) Nanoparticles

Mustafa Ersin Pekdemir\*, Mehmet Fatih Coşkun, Demet Coşkun

Department of Chemistry, Faculty of Science, Firat University, Elazığ, Turkey

\*ersinpkdmr58@gmail.com , fcoskun@firat.edu.tr , dcoskun@firat.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 11.09.2021, Makale kabul tarihi: 22.12.2021

### Abstract

Composites were prepared using poly vinyl chloride (PVC) and different percentages of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. All composites were characterized by FT-IR spectroscopy. Then, the thermal properties of the composites prepared in 1% and 10% ratios were examined. It was observed that the initial decomposition temperature ( $T_i$ ) values of PVC composites prepared with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles addition were lower than pure PVC. Magnetic properties of composites were examined with vibrating sample magnetometer (VSM). The saturation magnetization values of PVC composites prepared by using 1% and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were 2.77 and 7.06 emu / g, respectively.

**Keywords:** PVC, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle, maghemite, VSM, magnetization

## Farklı Oranlarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Maghemit) Nanopartikülleri Kullanılarak Hazırlanan Poli Vinil Klorür Kompozitlerinin Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi

### Öz

Polivinil klorür (PVC) ve farklı oranlarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıkları kullanılarak kompozitler hazırlandı. Tüm kompozitler FT-IR spektroskopisi ile karakterize edildi. Ardından, %1 ve %10 oranlarında hazırlanan kompozitlerin termal özellikleri incelendi. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikül ilavesi ile hazırlanan PVC kompozitlerin başlangıç bozunma sıcaklığı ( $T_i$ ) değerlerinin saf PVC'ye göre daha düşük olduğu görüldü. Titreşimli numune manyetometresi (VSM) ile kompozitlerin manyetik özellikleri incelendi. %1 ve %10 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılarak hazırlanan PVC kompozitlerin doygunluk manyetizasyon değerleri sırasıyla 2,77 ve 7,06 emu/g bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** PVC, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikül, maghemit, VSM, manyetizasyon

### INTRODUCTION

Progress in the synthesis of nanomaterials has led to an increase in research studies on the production and use of nanocomposites (Byrne and Gun'ko, 2010; Thostenson et al., 2001). Nanocomposites have always been the focus of attention for researchers (Tanaydın, 2021). This is because the physical properties of the host materials (usually polymers) match those of nanoscale materials. An example is that a non-magnetic material can become magnetic by adding an appropriate amount of magnetic material such as magnetic nanoparticles (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Wilson et al., 2004). Likewise, the insulating polymer can be given semiconductor or conductive properties by doping

conductive materials (MWCNT, nanographite) (Moniruzzaman and Winey, 2006). Thermal stability is required when polymeric materials are used for a long time and at different temperatures. Thermal stability can be achieved thanks to nanocomposites prepared using inorganic additives in nanosized size (Haruna et al., 2020; Moniruzzaman and Winey, 2006).

Magnetic nanoparticles containing iron oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) show superparamagnetic properties. As the size of such nanoparticles gets smaller, superparamagnetism emerges (Berry and Curtis, 2003). Superparamagnetism is a state open to changes in the magnetization direction. Therefore, as

Research article/Araştırma Makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.993988

the external magnetic field moves away from the medium, superparamagnetic nanoparticles lose their magnetization properties and return to their initial state (Gossuin et al., 2009; Lu et al., 2007). Magnetic nanoparticles are used in different fields such as magnetic resonance imaging (Lee et al., 2007; Weissleder et al., 2000), drug release (Chouly et al., 1996; Zhang et al., 2002), data storage (Sun Shouheng et al., 2000), catalysis, and energy conversion. The application areas vary according to the controllable size of the particles and the different morphological structures (Shafi et al., 2001). It has been observed in studies that composites prepared by using nanoparticles and especially magnetic iron nanoparticles have improved the properties of polymers such as glass transition temperature, tensile strength, and thermal degradation (Balazs et al., 2006; Haruna et al., 2020; TUKUR et al., 2020).

In order to modify poly vinyl chloride (PVC) and increase its hardness, plasticizers, and fillers were used, and copolymers were prepared using different monomers (Chen et al., 1995; Klarić et al., 2000). PVC is generally chosen as the polymer matrix due to its low cost, biocompatibility, and chemical stability (Haruna et al., 2020). While additives such as carbon fiber (Matuana et al., 1998), wood flour (Djidjelli et al., 2002), and calcium carbonate (Sun Shuisheng et al., 2006) were used to improve the thermal and mechanical stability of PVC, its electrical properties were tried to be improved by using polyaniline (Conn et al., 1995), polypyrrole (Ouyang and Chan, 1996) and MWCNT (Vadukumpully et al., 2011) (Al-Ramadhan et al., 2012). In addition, PVC-membrane electrodes have been developed for ion analysis in ambient water (Adem, 2019).

The homogeneous distribution of magnetic nanoparticles in the polymer matrix is the key to the strengthening and hardening effect of nanoparticles. In this study, PVC / magnetic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites were synthesized in a micellar environment with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles as the core in the PVC matrix layer. The characterization of the composites obtained by using nanoparticles on two different percentages (1% and 10%) was made by FT-IR spectroscopy. TGA analysis and magnetic properties of the prepared composites were examined.

Finally, both the saturation magnetization values and particle diameters were calculated from the obtained magnetization curves.

## EXPERIMENTAL

### Materials

PVC was purchased from PETKIM Turkish Company with a molecular weight of Mn=63000 g mol<sup>-1</sup>. Magnetic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle (maghemite) and tetrahydrofuran (THF) has been obtained from Sigma-Aldrich.

### Preparation of PVC/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticle Composites

Firstly, we prepared PVC composite with 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle. 0.5 gram PVC was dissolved in 5 mL THF. 0.005 g of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle was added to PVC solution and was sonicated in an ultrasonic homogenizer for 1h. The resulting composite was precipitated in ethanol and then filtered (Haruna et al., 2020). Using the same procedure, the PVC/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite containing 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle was prepared. Both PVC composites (containing 1% and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle) were dried first at room temperature and then at 40 °C in a vacuum oven for 24 h (Ma et al., 2010).

## RESULTS AND DISCUSSION

### FT-IR characterization

FT-IR spectrum of pure PVC, PVC / 1%, and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites are shown in Fig. 1. The characteristic bands of PVC at 2972-2912 cm<sup>-1</sup> (aliphatic -CH stretching), 1625 cm<sup>-1</sup> (-OH bending coming from KBr), 1251 cm<sup>-1</sup> (-CH bending on HCl), and 680 cm<sup>-1</sup> (C-Cl stretching). In addition, the OH bending vibration at 1625 cm<sup>-1</sup>, which is not related to the structure, is due to KBr. In the spectrum of PVC / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites, a new peak characterizing the Fe-O bond was detected at 617 cm<sup>-1</sup> (Pekdemir et al., 2021).

### Thermal Properties

TGA curves of PVC / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites are given in Fig. 2. In our previous study (Hassan Haruna, 2019), it was seen that the *T<sub>i</sub>* (initial decomposition temperature) value of PVC was 248 °C. In the case of PVC composites containing 1% and 10% magnetic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, rapid decomposition began at 213 and 230 °C (*T<sub>i</sub>*), respectively.

It has been observed that the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles reduce significantly the thermal stability of PVC. Although the thermal stability of the composites increases as the amount of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

increases, it is seen that they have still lower thermal stability than that of PVC. The results obtained from the TGA curves are shown in detail in Table 1.

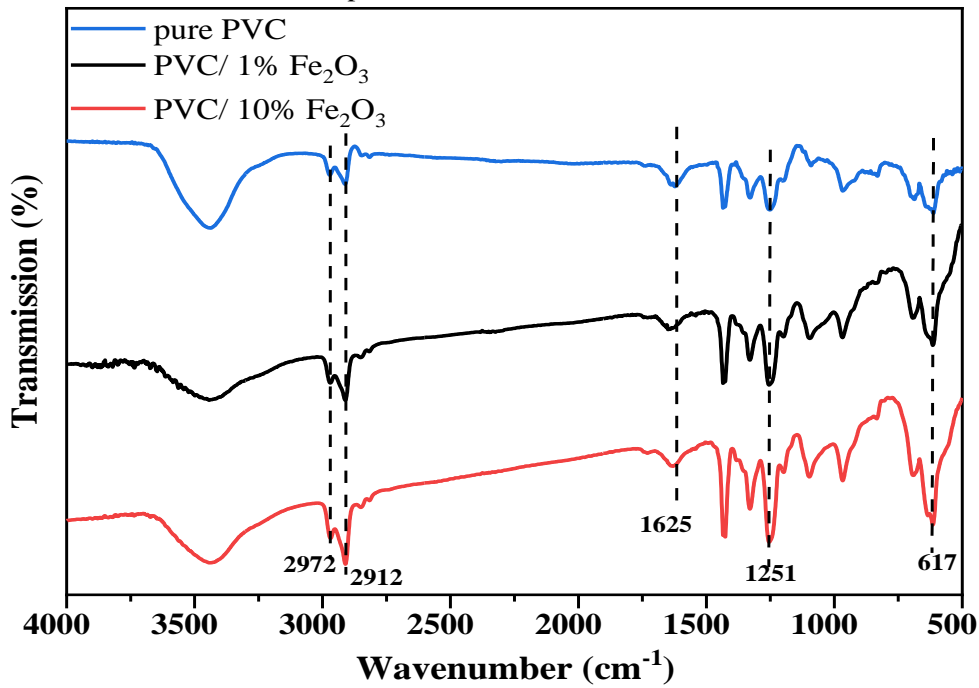


Figure 1. FT-IR spectra of PVC and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite

Table 1. Thermal investigation of PVC and composites containing Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles at different percentages

Material	$T_i^*$ (°C)	Weight loss (wt) at 350 °C	Residue (wt%) at 500 °C
PVC	250	61.7	10
PVC / %1 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> composite	215	54.1	12
PVC / %10 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> composite	230	47.2	16

### Magnetic Properties

The magnetic properties of the PVC/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites were characterized by vibrating sample magnetometer (VSM) at 300 K. The most important evidence that PVC composites containing magnetic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles are the VSM graph given in Fig.3.

It was seen in the VSM curves that the saturated magnetization values ( $M_s$ ) of the PVC / 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite and PVC / 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite were 2.77 and 7.06 emu/g, respectively. It is reported that the  $M_s$  value of the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle (maghemite) is 76.0 emu/g (Kommareddi et al., 1996) and 69.7

emu/g (Caizer, 2003). The obtained saturation magnetization values of the composites are lower than the values given for pure Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> due to the organic groups in PVC.

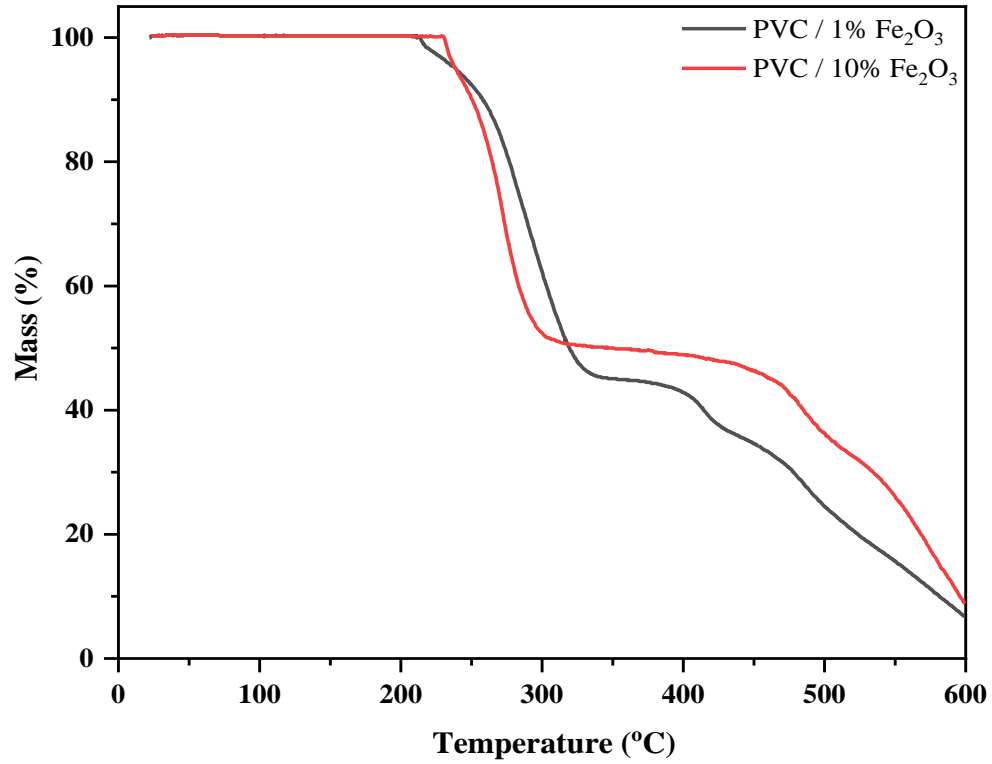
It can be said that the magnetic diameter of the particles is related to the parameters in the equation given below:(Yaacob et al., 1995)

$$d_{mag} = \left( \frac{18kT \left( \frac{d\sigma}{dH} \right)_0}{\pi \rho M_s^2} \right)^{1/3}$$

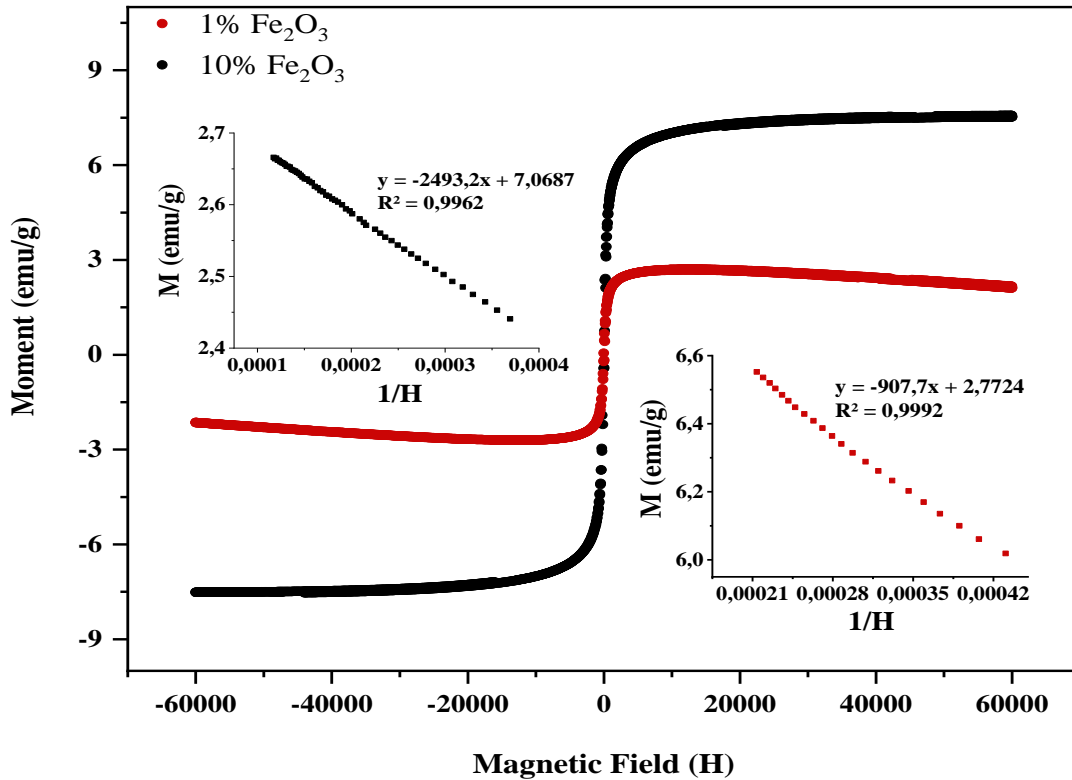


Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.993988

where  $\rho$  is the density of maghemite (5.07 g/cm<sup>3</sup>)(Kommareddi et al., 1996),  $k$  is the Boltzmann constant ( $1,381 \times 10^{-23}$  J / particle).



**Figure 2.** TGA curves of PVC / 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and PVC / 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites



**Figure 3.** VSM plot of PVC/1%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle

Magnetic susceptibility values  $[(d\sigma/dH)_0]$  for 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites were calculated as 0.0036 and 0.0019 emu/g.Oe, respectively. The value  $(d\sigma/dH)_0$  given in the equation is equal to the magnetic susceptibility ( $\chi_i$ ) (Kommareddi et al., 1996; Yaacob et al., 1995) and is found from the slopes of the tangent line drawn at  $H=0$  Oe. Using the equation given above with the magnetization curves obtained by VSM, the particle sizes of PVC composites containing 1% and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles were calculated as 12.3 nm and 5.3 nm, respectively.

## CONCLUSIONS

Composites were prepared with commercially used PVC and 1% and 10% magnetic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. In the FT-IR spectra of the composites prepared, the Fe-O stretching vibration at 637 cm<sup>-1</sup> proved to be nanoparticles in the structure. When TGA curves of composites were examined, it was seen that Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles reduced  $T_i$  value, in other words, the thermal stability of composites was lower than pure PVC. In addition, when the magnetization curves are examined, in the absence of an external magnetic field of PVC/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

nanocomposites, the field strength is required to restore the magnetization at the zero point and the magnetization value at the zero point is insignificant, which means that the composites are superparamagnetic. From the magnetization curves obtained by VSM, the saturation magnetization values of composites prepared with 1% and 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles were 2.77 and 7.06 emu / g, respectively. Therefore, it can be concluded that the composites have superparamagnetic properties.

## CONFLICT OF INTEREST

The Author report no conflict of interest relevant to this article.

## RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

## REFERENCES

Adem, A., 2019. Akış Enjeksiyon Analiz Yönteminde Dedektör Olarak Potansiyometrik Sensör Kullanarak Çevre Numunelerinde Kalsiyum İyonu Tayini.

Research article/Araştırma Makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.993988

- International Journal of Pure and Applied Sciences*, 5 (1): 37-45.
- Al-Ramadhan, Z., Hashim, A., Ali, M., Jewad, A., 2012. Synthesis and study the electrical properties of carbon nanotubes-polyvinylchloride composites. *Iraqi Journal of Physics*, 10 (18): 147-150.
- Balazs, A.C., Emrick, T., Russell, T.P., 2006. Nanoparticle polymer composites: where two small worlds meet. *science*, 314 (5802): 1107-1110.
- Berry, C.C., Curtis, A.S., 2003. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. *Journal of physics D: Applied physics*, 36 (13): R198.
- Byrne, M.T., Gun'ko, Y.K., 2010. Recent advances in research on carbon nanotube-polymer composites. *Advanced materials*, 22 (15): 1672-1688.
- Caizer, C., 2003. Saturation magnetization of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles dispersed in a silica matrix. *Physica B: Condensed Matter*, 327 (1): 27-33.
- Chen, C., Wesson, R., Collier, J., Lo, Y., 1995. Studies of rigid poly (vinyl chloride)(PVC) compounds. I. Morphological characteristics of poly (vinyl chloride)/chlorinated polyethylene (PVC/CPE) blends. *Journal of applied polymer science*, 58 (7): 1087-1091.
- Chouly, C., Pouliquen, D., Lucet, I., Jeune, J., Jallet, P., 1996. Development of superparamagnetic nanoparticles for MRI: effect of particle size, charge and surface nature on biodistribution. *Journal of microencapsulation*, 13 (3): 245-255.
- Conn, C., Booth, N., Unsworth, J., 1995. Preparation of a flexible polyaniline-pvc composite. *Advanced materials*, 7 (9): 790-792.
- Djidjelli, H., Martinez-Vega, J.J., Farenc, J., Benachour, D., 2002. Effect of wood flour content on the thermal, mechanical and dielectric properties of poly (vinyl chloride). *Macromolecular Materials and Engineering*, 287 (9): 611-618.
- Gossuin, Y., Gillis, P., Hocq, A., Vuong, Q.L., Roch, A., 2009. Magnetic resonance relaxation properties of superparamagnetic particles. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 1 (3): 299-310.
- Haruna, H., Pekdemir, M.E., Tukur, A., Coşkun, M., 2020. Characterization, thermal and electrical properties of aminated PVC/oxidized MWCNT composites doped with nanographite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 1-9.
- Hassan Haruna, M.E.P., Mehmet Coşkun, 2019. A study on aminated PVC/oxidized MWCNT composites. *Academia Journal of Scientific Research*, 7 (2): 86-94.
- Klarić, I., Vrandečić, N.S., Roje, U., 2000. Effect of poly (vinyl chloride)/chlorinated polyethylene blend composition on thermal stability. *Journal of applied polymer science*, 78 (1): 166-172.
- Kommareddi, N.S., Tata, M., John, V.T., McPherson, G.L., Herman, M.F., Lee, Y.-S. ve Kaplan, D.L., 1996. Synthesis of superparamagnetic polymer-ferrite composites using surfactant microstructures. *Chemistry of materials*, 8 (3): 801-809.
- Lee, J.-H., Huh, Y.-M., Jun, Y.-w., Seo, J.-w., Jang, J.-t., Song, H.-T. ve Suh, J.-S., 2007. Artificially engineered magnetic nanoparticles for ultra-sensitive molecular imaging. *Nature medicine*, 13 (1): 95-99.
- Lu, A.H., Salabas, E.e.L., Schüth, F., 2007. Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application. *Angewandte Chemie International Edition*, 46 (8): 1222-1244.
- Ma, P.-C., Siddiqui, N.A., Marom, G., Kim, J.-K., 2010. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41 (10): 1345-1367.
- Matuana, L.M., Park, C.B., Balatinecz, J.J., 1998. Cell morphology and property relationships of microcellular foamed pvc/wood-fiber composites. *Polymer Engineering & Science*, 38 (11): 1862-1872.
- Moniruzzaman, M., Winey, K.I., 2006. Polymer nanocomposites containing carbon nanotubes. *Macromolecules*, 39 (16): 5194-5205.
- Ouyang, M., Chan, C.M., 1996. Electrical and mechanical properties of pre-localized polypyrrole/poly (vinyl chloride) conductive composites. *Polymer Engineering & Science*, 36 (21): 2676-2682.
- Pekdemir, M.E., Pekdemir, S., İnci, Ş., Kırbağ, S., Çiftci, M., 2021. Thermal, Magnetic Properties and Antimicrobial Effects of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles Treated with Polygonum cognatum. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 45 1579-1586.
- Shafi, K.V., Ulman, A., Yan, X., Yang, N.-L., Estournes, C., White, H., Rafailovich, M., 2001. Sonochemical synthesis of functionalized amorphous iron oxide nanoparticles. *Langmuir*, 17 (16): 5093-5097.
- Sun, S., Li, C., Zhang, L., Du, H., Burnell-Gray, J., 2006. Interfacial structures and mechanical properties of PVC composites reinforced by CaCO<sub>3</sub> with different particle sizes and surface treatments. *Polymer international*, 55 (2): 158-164.
- Sun, S., Murray, C.B., Weller, D., Folks, L., Moser, A., 2000. Monodisperse FePt nanoparticles and ferromagnetic FePt nanocrystal superlattices. *Science*, 287 (5460): 1989-1992.
- Tanaydın, M.K., 2021. Hidrometalurjik Yöntemlerle Nadir Toprak Elementlerinin Kazanılması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7 (2): 288-304.
- Thostenson, E.T., Ren, Z., Chou, T.-W., 2001. Advances in the science and technology of carbon nanotubes

Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.993988



- and their composites: a review. *Composites science and technology*, 61 (13): 1899-1912.
- Tukur, A., Pekdemir, M.E., Coşkun, M., 2020. Investigation of structural, thermal and dielectric properties of PVC/modified magnetic nanoparticle composites. *Cumhuriyet Science Journal*, 41 (2): 377-385.
- Vadukumpully, S., Paul, J., Mahanta, N., Valiyaveetil, S., 2011. Flexible conductive graphene/poly (vinyl chloride) composite thin films with high mechanical strength and thermal stability. *Carbon*, 49 (1): 198-205.
- Weissleder, R., Moore, A., Mahmood, U., Bhorade, R., Benveniste, H., Chiocca, E.A., Basilion, J.P., 2000. In vivo magnetic resonance imaging of transgene expression. *Nature medicine*, 6 (3): 351-354.
- Wilson, J., Poddar, P., Frey, N., Srikanth, H., Mohamed, K., Harmon, J. ve Wachsmuth, J., 2004. Synthesis and magnetic properties of polymer nanocomposites with embedded iron nanoparticles. *Journal of Applied Physics*, 95 (3): 1439-1443.
- Yaacob, I.I., Nunes, A.C., Bose, A., 1995. Magnetic nanoparticles produced in spontaneous cationic-anionic vesicles: room temperature synthesis and characterization. *Journal of colloid and interface science*, 171 (1): 73-84.
- Zhang, Y., Kohler, N., Zhang, M., 2002. Surface modification of superparamagnetic magnetite nanoparticles and their intracellular uptake. *Biomaterials*, 23 (7): 1553-1561.

## Machine Learning Based Deception Detection System in Online Social Networks

Harun Bingol<sup>1\*</sup>, Bilal Alatas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Software, Elazig, Turkey

<sup>2</sup>Firat University, Faculty of Engineering, Department of Software, Elazig, Turkey

\*harun\_bingol@hotmail.com , balatas@firat.edu.tr 

Received date:13.09.2021, Accepted date:04.02.2022

### Abstract

The rapid dissemination of Internet technologies makes it easier for people to live in terms of access to information. However, in addition to these positive aspects of the internet, negative effects cannot be ignored. The most important of these is to deceive people who have access to information whose reliability is controversial through social media. Deception, in general, aims to direct the thoughts of the people on a particular subject and create a social perception for a specific purpose. The detection of this phenomenon is becoming more and more important due to the enormous increase in the number of people using social networks. Although some researchers have recently proposed techniques for solving the problem of deception detection, there is a need to design and use high-performance systems in terms of different evaluation metrics. In this study, the problem of deception detection in online social networks is modeled as a classification problem and a methodology that detects misleading contents in social networks using text mining and machine learning algorithms is proposed. In this method, since the content is text-based, text mining processes are performed and unstructured data sets are converted to structured data sets. Then supervised machine learning algorithms are adapted and applied to the structured data sets. In this paper, real public data sets are used and Support Vector Machine, k-Nearest Neighbor (k-NN), Naive Bayes (NB), Random Forest, Decision Trees, Gradient Boosted Trees (GBT), and Logistic Regression algorithms are compared in terms of many different metrics. In Dataset 1, the highest average accuracy value was obtained with 74.4% GBT algorithm, while in Dataset 2, the highest average accuracy value was obtained from the NB algorithm with 71.2%.

**Keywords:** Classification, deception detection, machine learning, social networks

## Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Makine Öğrenmesi Tabanlı Aldatma Tespit Sistemi

### Öz

İnternet teknolojilerinin hızla yaygınlaşması, insanların bilgiye erişim açısından yaşamlarını kolaylaştırmaktadır. Ancak internetin bu olumlu yönlerine ilaveten olumsuz etkileride göz ardı edilemez. Bunların en önemlisi ise sosyal medya üzerinden güvenilirliği tartışmalı olan bilgiye erişmek isteyen insanların aldatılmasıdır. Aldatma, genel olarak insanların belirli bir konuda düşüncelerini yönlendirmeyi ve belirli bir amaca yönelik toplumsal bir algı oluşturmayı amaçlar. Bu fenomenin tespiti, sosyal ağları kullanan insan sayısındaki muazzam artış nedeniyle giderek daha önemli hale geliyor. Bazı araştırmacılar son zamanlarda aldatma tespiti problemini çözmek için teknikler önermiş olsa da, farklı değerlendirme ölçütleri açısından yüksek performanslı sistemler tasarlamaya ve kullanmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, çevrimiçi sosyal ağlarda aldatma tespiti problemi bir sınıflandırma problemi olarak modellenmiş ve metin madenciliği ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sosyal ağlardaki yanıltıcı içerikleri tespit eden bir metodoloji önerilmiştir. Bu yöntemde içerik metin tabanlı olduğu için metin madenciliği işlemleri yapılmakta ve yapılandırılmamış veri kümeleri yapılandırılmış veri kümelerine dönüştürülmektedir. Ardından denetimli makine öğrenmesi algoritmaları uyarlanmata ve yapılandırılmış veri kümelerine uygulanmaktadır. Bu çalışmada, gerçek halka açık veri setleri kullanılmış ve Destek Vektör Makinesi, k-Nearest Neighbor (k-NN), Naive Bayes (NB), Random Forest, Decision Trees, Gradient Boosted Trees (GBT) ve Logistic Regresyon algoritmaları birçok farklı metrik açısından karşılaştırılmıştır. Veri seti 1'de en yüksek ortalama doğruluk değerini %74.4 GBT algoritmasında elde edilirken, Veri seti 2'de en yüksek ortalama doğruluk değeri %71.2 ile NB algoritmasından elde edilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.994840

**Anahtar Kelimeler:** Sınıflandırma, aldatma tespiti, makine öğrenmesi, sosyal ağlar

## INTRODUCTION

The development of Internet brought the concepts of social media and social networking. In social networks, people produce and share content that expresses their feelings and thoughts. For example, they share information about a hotel they have gone to, or they comment on a restaurant where they eat. In other words, social life is being carried into the digital world.

The rapid expansion of Internet technologies has redefined the concept of electronic commerce. Because reviews and sharing of ideas by the users of the products that are intended to be sold have become an integral part of online shopping today. Consumers provide fast, easy, and inexpensive access to information through social networks. Traditional newspapers and magazines are too slow and expensive to be compared to social networks. However, the reliability of a system with such advantages can be controversial. This situation, which cannot be ignored, brings some risks. Malicious people try to influence the idea of buying negatively or positively by making deceptive comments that do not reflect the truth in order to mislead the opinions and thoughts of the public about a product (Dematis et al., 2018).

People who use the well-known social media tools such as Twitter, Facebook, and Instagram get an idea and opinion about the product by reading user reviews under an advertised product. They make positive or negative decisions in line with these ideas and thoughts. These decisions, not only affect the decision-makers but can also become public opinion. Because nowadays, access to information is extremely fast. Thus, it is not possible to foresee the extent, severity, and harm of the danger. One of the two competing yogurt brands may try to reduce sales rates with fake comments by putting a few untrue deceptive contents on a web page about the other yogurt company it competes with. In addition, consumers express opinions about the services they receive and the money they pay for this service. These ideas may also include manipulation.

One recent study shows that while 90% of consumers make a decision to buy a service or product, they read and evaluate consumer comments available on the Internet (Rudolph, 2015). This is a very important rate. Moreover, the study shows that

88% of consumers rely on personal recommendations and online consumer comments (Rudolph, 2015). User reviews of such particular services and products pave the way for manipulating the thoughts of people who will buy this product (Dematis et al., 2018). There are many websites around the world whose purpose is to produce only deceptive content and manage people's ideas.

Even if some researchers have recently proposed techniques for solving the problem deception detection in online social network, there is a need to design and use high-performance systems in terms of different evaluation criteria. In this study, a method determining the content that deceives people in online social media by using machine learning algorithms is proposed. In this method, deception detection is modeled as a classification problem. Since the content is text-based, unstructured data sets are converted to structured data sets with text mining stages. Then machine learning algorithms are applied to the data in the structured data set. Performances of adapted algorithms are evaluated in two real public data sets in terms of many evaluation criteria such as precision, accuracy, f-measure, and recall. In Dataset 1, the highest average accuracy value was obtained with 74.4% GBT algorithm, while in Dataset 2, the highest average accuracy value was obtained from the NB algorithm with 71.2%.

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 reviews the related works on the deception detection problem. In Section 3, the details of the proposed model is presented. How to obtain structured data sets from unstructured data sets by text mining is also described in this section. In Section 4, used machine learning algorithms and the data sets that are used to test the deception detection method are introduced. The performance comparison of machine learning algorithms with respect to different metrics are presented. In Section 5, the results of the study are examined and the article is finalized.

## RELATED WORKS

The problem of deception detection has an important place in social network analysis. There are original articles in the literature that contain various approaches to solve this important and complex

problem. The scientific world is making serious efforts to solve this problem and its popularity is increasing day by day. In this section, the articles and reports related to the detection of deception are introduced. Ott et al. stated that web sites containing consumer reviews have become targets of deceptive content (Ott et al., 2011). In their study, three approaches to detect deceptive content were developed and their performances were compared. As a result, it was stated that a classifier with an accuracy rate of approximately 90% was developed.

Delgado et al. used the machine learning techniques such as Decision Tree (DT), Logistic Regression (LR), Naive Bayesian (NB), Support Vector Machine (SVM), Neural Networks (NN), Random Forest (RF) methods. Articles related with news and e-mails were used as data sources to detect deception. They carried out the classification process using Bag of Words and Part of Speech tag features (Ceballos Delgado et al., 2021).

Krishnaveni and Radha stated in their study that text classification algorithms can be used together with clustering algorithms to get better results. In the experiments, NB, SVM, and DT classification algorithms and K-means, One-Pass, and DBScan clustering algorithms were used together. They observed that it was the most successful case when K-means and SVM algorithms were used together (Krishnaveni et al., 2021).

Kesarvani et al. used data obtained from Facebook to detect deception in their study. Machine learning algorithms such as Logistic Regression (LR), Random Forest, and SVM were used in the experiments. LR classification algorithm showed the highest performance with 98.25% accuracy (Kesarwani et al., 2021).

In his Ph.D. thesis, Merritts aimed to realize the deception detection system automatically and autonomously by using the BDI (Belief, Desire, and Intention) agents. With the prototype developed as a result of the study, it was stated that the data could be classified as “deceptive” or “non-deceptive” with an accuracy rate of 85% (Merritts, 2013).

Wani et al. used the Covid-19 dataset to detect deceptive content. They used deep learning techniques such as Long Short Term Memory (LSTM) and Convolutional Neural Network (CNN) in their experiments. They reached 98.41% as the highest accuracy rate in their study (Wani et al., 2021).

Feng and Hirst tried to distinguish whether the products were original using op\_spam\_v1.3 (Ott et al., 2011), a data set for hotel reviews. Profile compatibility was used during the experiments. In this way, it was stated that the classification performance was significantly improved (Feng et al., 2013). Sternglanz et al. examined the methods of detecting deception by law enforcement. In addition, they provided information about meta-analytic studies (Sternglanz et al., 2019).

Rill-Garcia et al. tried to detect deception through video data. They tried to improve the results obtained by using the multimodal fusion method. They also used it during the Spanish dataset experiments (Rill-García et al., 2019). Li et al. investigated a general approach to identify online deceptive ideas using new data sets from three different areas (hotel, restaurant, and medicine) (Li et al., 2014a).

Huayi Li et al. reported that in the previous deception detection studies, the texts mentioned generally in English were used and deception detection was proposed for English. In their study, they tried to identify the deceptions in the Chinese texts (Li et al., 2014b). The data sets from the Chinese review site, Dianping, were used to perform these operations.

Jaume Masip stated that the detection of deception was a lively, dynamic field of psychology that has experienced significant developments recently (Masip, 2017). Conroy et al. proposed an innovative hybrid approach by combining networked behavioral data, linguistics, and machine learning approaches (Conroy et al., 2015). Rubin et al. proposed a system that identifies potential types of deceptive news for users and aims to assist users in filtering (Rubin et al., 2015). Three types of fake news were discussed in their work. For predictive modeling, pros, and cons were analyzed.

Litvinova et al. used the data set prepared in Russian language in their study. They reached 68.3% accuracy with the classifier proposed according to some selected parameters (Litvinova et al., 2017). Kumari and Srivastava discussed binary classifiers commonly used in text mining (Kumari et al., 2017). Ding et al. stated that it was very difficult to detect cheating from real life videos. They recommended evaluating the human body and face together to detect deception. (Ding et al., 2019).

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.994840

Kleinberg et al. suggested that cross validation technique should be used to detect deception in their study (Kleinberg et al., 2019). Van der Walt et al. identified the deceptive event by using profile image features in their study. They performed a classification using machine learning methods (Van der Walt et al., 2018). Psychological, linguistic, and computational processes consistently were presented as difficulties in detecting deception (Rosso et al., 2017).

Krishnamurthy et al., developed a multi-modal neural model for the detection of deception. In the experimental results, it was stated that it gave better results than all known methods with an accuracy rate of 96.14% (Krishnamurthy et al., 2018).

Bessi performed a study on the statistical properties of unproven claims and hoaxes in social networks (Bessi, 2017). Zu et al. proposed an efficient model, which focus on the relationship between updated information and false information to reduce the impact of fabricated fake information (Zhu et al., 2018). Supervised machine learning methods for detecting deception as false and fabricated news in social media were examined by Altunbey Ozbay and Alatas (Altunbey Ozbay et al., 2019).

Van Der Zee et al. stated in their study that they found significant differences in correct and incorrect tweets. They stated that they developed a quantitative model. It was stated that this system achieved an accuracy value of 73% (Van Der Zee et al., 2021).

In their study, Levine et al. stated that the accuracy rate of the system they proposed as the deception detection model was 55%, and the error rate was 10%. (Levine et al., 2021).

### **DECEPTION DETECTION MODEL**

The representation of data in intelligent systems significantly affects the performance of results.

Particularly, text-based problems need to be converted into a suitable representation. Text mining is a data mining study that accepts the text as a data source (Aggarwal et al., 2012). Text mining is defined as the extraction of previously unknown, useful, and meaningful information from textual data. In this study, text mining was used as pre-processing methods in order to construct a complete deception detection model. According to this model, the basic operations of text mining were applied to the data set. The deception detection model proposed and used in this study is shown in Figure 1.



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.994840

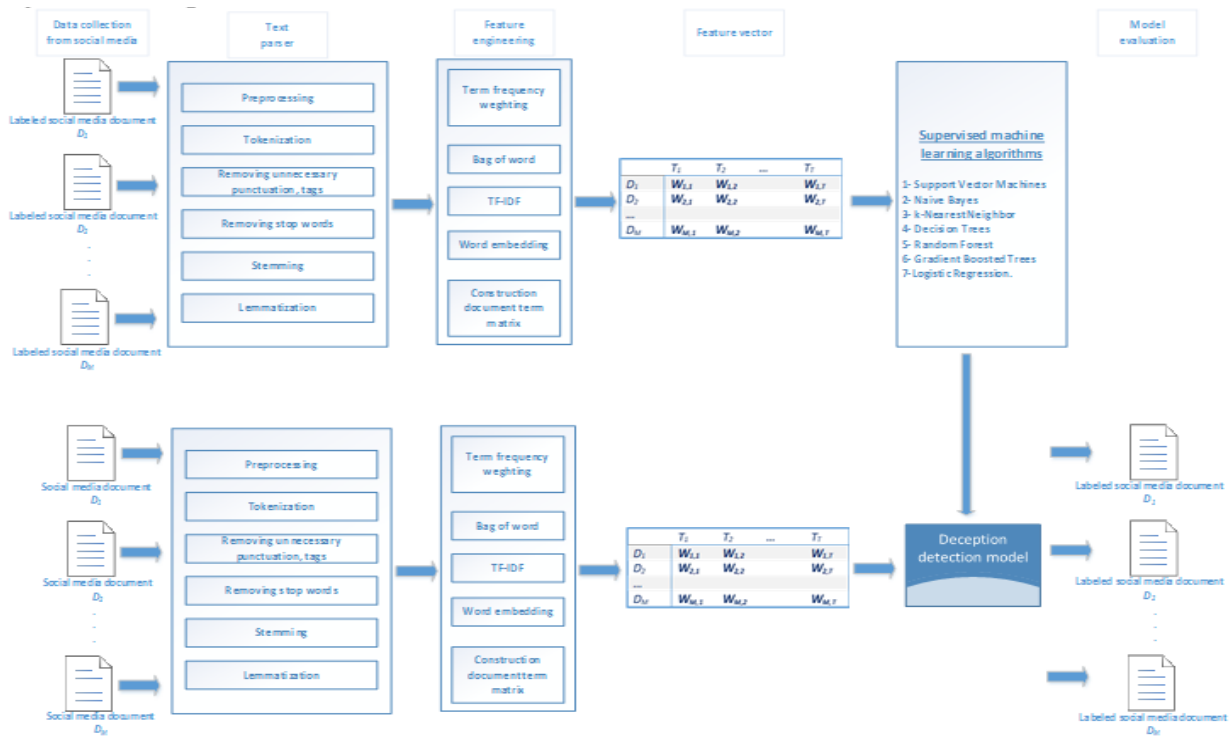


Figure 1. Deception detection model (Baloglu et al., 2019)

**Data Preprocessing Steps**

Text mining studies are included in the field of natural language processing. Natural language processing studies, mostly include studies based on linguistics under artificial intelligence. On the other hand, text mining aims to reach statistical results through text (Aggarwal et al., 2012; Can et al., 2017).

Text mining applications generally require processing on unstructured data. In order to make sense of unstructured data, we need to make the data workable. In other words, it is necessary to obtain structured data from unstructured data.

**Tokenization**

This pre-processing step slices the textual data into smaller pieces that are called as tokens. All of the punctuations were removed from the text data in this process (Mullen et al., 2018). Number filter was also applied to delete numbers. In this step, words consisting of less than N characters were deleted from the text (N = 3).

**Removing stop words**

Stop words in the text do not carry information, but are found in the unique structure of each language. Pronouns, prepositions, and conjunctions are stop-words. Some stop words in English are as

follows: a, an, after, about, by, but, when, that, too, on, above, once, until, am, and so on.

**Stemming**

In the step of stemming, the root states of the words which have the same meaning but different word forms is tried to be found. For instance, the words, tire- tired- tiring, interested- interesting, bored- boring, surprised- surprising, and so on.

**Feature Extraction and Selection**

In the step of stemming, the root states of the words which have the same meaning but different word forms is tried to be found. For instance, the words, tire- tired- tiring, interested- interesting, bored- boring, surprised- surprising, and so on.

The feature extraction and selection process is the determination of the features that determine which class the data belongs to among the many features of the data (Göker et al., 2017). High dimensional data are one of the biggest problems encountered in text mining. Therefore, in order to develop the model, the higher dimension must be reduced. This is performed by removing unnecessary features from the data. Thus, the search space is reduced that can be more easily studied. The terms in the textual data for each document were weighted and each document was

converted into a term weights vector. In vector space model, each word is represented by a numerical value that shows the weight of the word in the text data (Altunbey Ozbay et al., 2019).

Inverse Document Frequency (IDF), Term Frequency (TF), Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF), or binary representation are proposed to indicate the weights (Altunbey Ozbay et al., 2019). Generally, TF and TF-IDF are used among these approaches. In this paper, TF was used for the weights (Azam et al., 2012).

*Binary Vectors:* The text-containing data in the data set is represented as 0's and 1's.

*TF:* It refers to the number of repetitions of the word roots in the data as shown in Eq. (1).

*TF-IDF:* It gives a measure of the number of repetitions (TF) of the word root in the data and of the infrequently repeated words (IDF) in the entire data set. It is computed as in Eq. (2).

$$TF_{ij} = \frac{n_{ij}}{|d_i|} \quad (1)$$

$$IDF_{ij} = \log_2 \left( \frac{n}{n_j} \right) \quad (2)$$

$d_i$  is the sum of all terms in the  $i$ -th document.  $n_{ij}$  is the number of  $j$ -th word in the  $i$ -th document. When calculating the IDF,  $n$  represents the total number of documents, while  $n_j$  represents the number of documents in which the  $j$ -th term appears.

After the TF value is computed for each word of document, Document Term Matrix (DTM) is constructed using weights of the words. In DTM, each row represents the documents, column indicates the term and cell indicates the term weights (Göker et al., 2017).

During the experiments, a document matrix which was reduced in size according to TF was created. A part of the document matrix was determined to be training data and the rest as test data. Machine learning algorithms were applied to the document matrix and the results were observed.

### Machine Learning Algorithms Adapted for Deception Detection

Seven machine learning algorithms were used during the experiments. The reason for this is that there is no machine learning algorithm that works perfectly for each data set. The performance of these algorithms was evaluated in terms of different metrics such as precision, recall, F-measure, and accuracy. The adapted machine learning algorithms as

deception detection are SVM, Naive Bayes, K-Nearest Neighbor (k-NN), Decision Trees, Random Forest, Gradient Boosted Trees, and Logistic Regression.

Naive Bayes method greatly simplifies classification task by assuming that attributes are independent given class. Naive Bayes often competes well with more complex supervised machine learning methods although independence is generally a poor assumption (Altay et al., 2019).

SVM is a discriminative machine learning technique formally defined by a separating hyperplane (Osuna et al., 1997). Given labeled training data sets, it outputs an optimal hyperplane which categorizes new samples.

Fix and Hodges proposed a non-parametric algorithm for pattern classification that has since become known as the k-nearest neighbor (k-NN) rule (Fix et al., 1951). k-NN is one of the most simple and fundamental supervised machine learning algorithms and is generally the first choice for a classification task when there is little or no prior knowledge about the data distribution (Peterson, 2009).

The decision tree builds a classification model in the form of a tree structure. It breaks down the data into smaller pieces while at the same time an associated decision tree is incrementally constructed. The final result is a tree with leaf nodes and decision nodes (Friedl et al., 1997).

Random forest method consists of a combination of tree predictors where each tree depends on the values of a random vector sampled independently from the input vector, and each tree casts a unit vote for the most popular class to classify an input vector (Breiman, 2001).

Gradient boosting combines many weak supervised machine learning methods to construct a strong predictive model. Generally decision trees are used when performing gradient boosting (Friedman, 2002).

The logit-the natural logarithm of an odds ratio is the central mathematical concept that underlies logistic regression. Generally, logistic regression is well suited for relationships between one or more continuous or categorical predictor variables and a categorical output variable (Peng et al., 2002).

### EXPERIMENTAL RESULTS

In this study, the problem of deception detection was handled as a classification problem. This section

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.994840

compares the classification capabilities of adapted machine learning methods on different sets of experiments. The performances of the algorithms in different metrics are shown in comparative tables. Real-world data sets (TripAdvisor, Hotels.com) were used to evaluate the proposed deception detection models. Details of two real data sets and experimental results obtained from these data sets are presented in the following subsections.

**Data Set 1 (Trip Advisor)**

The TripAdvisor data set contains an equal number of real and deceptive data on customer satisfaction collected from 20 hotels in Chicago. It is a data set containing 400 correct comments from TripAdvisor and 400 deceiving comments from Mechanical Turk (Ott et al., 2011).

Seven different machine learning algorithms were applied to data set 1 to detect deception. 70% of the data set was used for training and remaining was used for testing the algorithms. The standard

parameter values selected in the literature were used for machine learning algorithms. In addition, no parameter analysis and optimization were performed. The results are listed in Table 1.

**Table 1.** Performance of machine learning algorithms in data set 1 (70% training, 30% testing)

	Machine Learning Algorithms						
	Naive Bayes	Decision Tree	k-NN (k=3)	Random Forest	SVM	Logistic Regression	Gradient Boosted Trees
<b>Accuracy</b>	0.746	0.633	0.650	0.754	0.750	0.742	<b>0.771</b>
<b>F-Measure</b>	0.729	0.607	0.689	0.755	0.747	0.746	<b>0.766</b>
<b>Precision</b>	0.781	0.654	0.620	0.752	0.730	0.734	<b>0.783</b>
<b>Recall</b>	0.683	0.567	<b>0.775</b>	0.758	0.748	0.758	0.750

**Table 2.** Performance of machine learning methods in data set 1 (80% training, 20% testing)

	Machine Learning Algorithms						
	Naive Bayes	Decision Tree	k-NN (k=3)	Random Forest	SVM	Logistic Regression	Gradient Boosted Trees
<b>Accuracy</b>	0.700	0.694	0.656	0.719	0.715	<b>0.756</b>	0.725
<b>F-Measure</b>	0.692	0.703	0.696	0.717	0.709	<b>0.766</b>	0.718
<b>Precision</b>	0.711	0.682	0.624	0.722	0.702	<b>0.736</b>	0.735
<b>Recall</b>	0.675	0.725	0.787	0.713	0.703	<b>0.800</b>	0.700

When Table 1 is examined, Gradient Boosted Trees seems the best machine learning algorithm in terms of accuracy, f-measure, and precision metrics. Its accuracy is 0.771 for data set 1. Decision Tree is

the worst method in terms of accuracy, f-measure, and recall values for this dataset.

When Table 2 is examined, Logistic Regression for data set 1 outperformed all machine learning

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.994840

algorithms with respect to all metrics. The accuracy of Logistic Regression in this dataset is 0.756. Naive Bayes seems the worst method in terms of f-measure and recall values obtained in this dataset. k-NN is the worst method in terms of precision and accuracy metrics.

The results of another experiment in which the cross-validation test was performed are shown in Table 3. 5-fold cross-validation was performed during this experiment. The standard parameters in

the literature were used for machine learning methods. No parameter analysis and optimization were performed. When Table 3 is checked, it is seen that Naive Bayes outperformed other machine learning methods in term of the f-measure, accuracy, and precision values. Its accuracy value is 0.752. Decision Tree is the worst method in terms of all metrics.

**Table 3.** Performance of machine learning algorithms in data set 1 (5-Fold Cross Validation)

	Machine Learning Algorithms						
	Naive Bayes	Decision Tree	k-NN (k=3)	Random Forest	SVM	Logistic Regression	Gradient Boosted Trees
<b>Accuracy</b>	<b>0.752</b>	0.598	0.640	0.733	0.751	0.731	0.736
<b>F-Measure</b>	<b>0.755</b>	0.662	0.686	0.737	0.753	0.727	0.742
<b>Precision</b>	<b>0.748</b>	0.572	0.609	0.729	<b>0.748</b>	0.739	0.726
<b>Recall</b>	0.753	0.599	<b>0.785</b>	0.745	0.758	0.715	0.760

**Table 4.** Mean performances of machine learning algorithms in data set 1

	Machine Learning Algorithms						
	Naive Bayes	Decision Tree	k-NN (k=3)	Random Forest	SVM	Logistic Regression	Gradient Boosted Trees
<b>Accuracy</b>	0.733	0.642	0.649	0.735	0.739	0.743	<b>0.744</b>
<b>F-Measure</b>	0.726	0.657	0.690	0.736	0.736	<b>0.746</b>	0.742
<b>Precision</b>	0.747	0.636	0.618	0.734	0.727	0.736	<b>0.748</b>
<b>Recall</b>	0.704	0.630	<b>0.782</b>	0.739	0.736	0.758	0.737

When the values obtained from these three experiments are averaged for the algorithms, the mean metric values of the algorithms are demonstrated in Table 4. As seen in this table, SVM has the highest mean accuracy value according to the averaged results of three experiments.

**Data Set 2 (Hotels.com)**

The Hotels.com data set contains an equal number of real and deceptive data on customer satisfaction collected from 20 hotels in Chicago. It is a data set containing 400 correct comments from (TripAdvisor, Expedia, Orbitz, Hotels.com, Priceline and Yelp) and 400 deceiving comments from Mechanical Turk (Sternglanz et al.,2019).

Seven different machine learning methods were applied to data set 2 to detect deception. 70% of the data set was selected for training and remaining of the total data set was selected for testing the methods. The standard parameter values were used for machine learning algorithms. Parameter analysis and optimization were not performed. The results are shown in Table 5.

When Table 5 is examined, Naive Bayes and Logistic Regression for data set 2 are the best machine learning algorithms with an accuracy of 0.704. The worst-case machine learning algorithm for Data set 2 was the Decision Tree with an accuracy of 0.625. Logistic Regression outperformed all methods in terms of f-measure, accuracy, and recall values

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.994840

obtained from this data set for deception detection problem. Decision Tree seems the worst method according to the accuracy, f-measure, and precision metrics for this data set.

80% of the data set was used for training and remaining was used for testing the algorithms as another experiment. The standard parameter values used in the literature were used for machine learning algorithms. In addition, no parameter analysis and optimization were performed. The results obtained are demonstrated in Table 6.

Random Forest outperformed all methods in terms of f-measure, accuracy, and recall values obtained from this data set for deception detection problem according to the results of this experiment. Naive Bayes and Random Forest for data set 2 are the best machine learning algorithms with an accuracy of

0.706. Decision Tree is the worst method in terms of all metrics.

The results of another experiment in which the cross-validation test was performed are shown in Table 7. 5-fold cross-validation was used during the experiment. The standard parameter values in the literature were selected for machine learning algorithms. No parameter analysis and optimization were performed. When Table 7 is examined, Naive Bayes seems the best machine learning algorithm in terms of accuracy, recall, and f-score for data set 2. The worst machine learning algorithm for data set 2 was the *k*-NN with an accuracy of 0.651.

**Table 5.** Performance of machine learning methods in data set 2 (70% training, 30% testing)

	Machine Learning Algorithms						
	Naive Bayes	Decision Tree	<i>k</i> -NN ( <i>k</i> =3)	Random Forest	SVM	Logistic Regression	Gradient Boosted Trees
<b>Accuracy</b>	<b>0.704</b>	0.625	0.692	0.692	0.700	<b>0.704</b>	0.667
<b>F-Measure</b>	0.682	0.648	0.686	0.704	0.691	<b>0.715</b>	0.688
<b>Precision</b>	<b>0.738</b>	0.610	0.698	0.677	0.712	0.690	0.647
<b>Recall</b>	0.633	0.692	0.675	0.733	0.652	<b>0.742</b>	0.733

**Table 6.** Performance of machine learning methods in data set 2 (80% training, 20% testing)

	Machine Learning Algorithms						
	Naive Bayes	Decision Tree	<i>k</i> -NN ( <i>k</i> =3)	Random Forest	SVM	Logistic Regression	Gradient Boosted Trees
<b>Accuracy</b>	<b>0.706</b>	0.606	0.700	<b>0.706</b>	0.702	0.681	0.681
<b>F-Measure</b>	0.693	0.623	0.696	<b>0.728</b>	0.718	0.691	0.695
<b>Precision</b>	<b>0.726</b>	0.598	0.705	0.677	0.670	0.671	0.667
<b>Recall</b>	0.662	0.650	0.688	<b>0.787</b>	0.760	0.713	0.725

**Table 7.** Performance of machine learning algorithms in data set 2 (5-Fold Cross Validation)

Machine Learning Algorithms							
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--

	<b>Naive Bayes</b>	<b>Decision Tree</b>	<b>k-NN (k=3)</b>	<b>Random Forest</b>	<b>SVM</b>	<b>Logistic Regression</b>	<b>Gradient Boosted Trees</b>
<b>Accuracy</b>	<b>0.725</b>	0.696	0.651	0.720	0.721	0.701	0.708
<b>F-Measure</b>	<b>0.728</b>	0.682	0.659	0.717	0.724	0.702	0.695
<b>Precision</b>	0.721	0.680	0.644	0.724	0.717	0.700	<b>0.730</b>
<b>Recall</b>	<b>0.735</b>	0.653	0.675	0.710	0.730	0.698	0.663

**Table 8.** Mean performance of machine learning algorithms in data set 2

	<b>Machine Learning Algorithms</b>						
	<b>Naive Bayes</b>	<b>Decision Tree</b>	<b>k-NN (k=3)</b>	<b>Random Forest</b>	<b>SVM</b>	<b>Logistic Regression</b>	<b>Gradient Boosted Trees</b>
<b>Accuracy</b>	<b>0.712</b>	0.642	0.681	0.706	0.708	0.695	0.685
<b>F-Measure</b>	0.701	0.651	0.680	<b>0.716</b>	0.711	0.703	0.693
<b>Precision</b>	<b>0.728</b>	0.629	0.682	0.693	0.700	0.687	0.681
<b>Recall</b>	0.677	0.665	0.679	<b>0.743</b>	0.714	0.718	0.707

When the values obtained from these three experiments are averaged for the algorithms in data set 2, the mean metric values of the algorithms are demonstrated in Table 8. As seen in this table, Random forest has the best mean f-measure and recall values while Naïve Bayes has the highest mean accuracy and precision values according to the averaged results of three experiments performed in data set 2.

**CONCLUSION**

Today, the accuracy and reliability of information have gained more importance with the widespread use of social media. In this article, a methodology for the problem of deception detection in online social networks was proposed by using text mining techniques and machine learning algorithms. The problem of deception detection was modeled as a classification problem in this study. The proposed model was tested on two different real data sets. Performances of the machine learning algorithms were evaluated with respect to accuracy, precision, f-measure, and recall metrics using three experiments.

When all the experimental results were evaluated as a whole, GTB performed better in terms of the obtained mean f-measure and accuracy values for dataset1. NB and RF algorithms showed equal performance for data set 2. NB algorithm reached the highest accuracy value in data set 2. Decision Trees was the worst algorithm in both data set 1 and data set 2 with respect to all evaluation metrics for the

deception detection problem that was modeled as a classification problem in this study. There is no single algorithm that solves all problems.

In Dataset 1, the highest average accuracy value was obtained with 74.4% GBT algorithm, while in Dataset 2, the highest average accuracy value was obtained from the NB algorithm with 71.2%.

In future studies, the model proposed and used in this article may be improved by exploring new algorithms, integrating metaheuristic search and optimization methods, and hybridizing the current algorithms for more efficient results. Different feature extraction techniques and ensemble methods can also be integrated for enhancing the performance of the deception detection system in terms of many important metrics.

**CONFLICT OF INTEREST**

The Authors report no conflict of interest relevant to this article

**RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT**

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

**REFERENCES**

Aggarwal, C. C., Zhai, C. (Eds.). (2012). Mining text data. Springer Science & Business Media.  
 Altay, O., Ulas, M., Mahmut, O. Z. E. R., Ece, G. E. N. C. (2019). An expert system to predict warfarin dosage

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.994840

- in Turkish patients depending on genetic and non-genetic factors. In IEEE 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS) (pp. 1-6).
- Altunbey Ozbay, F., Alatas, B. (2019). Fake news detection within online social media using supervised artificial intelligence algorithms, *Physica A*, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123174>.
- Azam, N., Yao, J. (2012). Comparison of term frequency and document frequency based feature selection metrics in text categorization. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 4760-4768.
- Baloglu, U. B., Alatas, B., Bingol, H. (2019). Assessment of Supervised Learning Algorithms for Irony Detection in Online Social Media. In 2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK) (pp. 1-5). IEEE.
- Baydogan, C., Alatas, B. (2021). Metaheuristic Ant Lion and Moth Flame Optimization-Based Novel Approach for Automatic Detection of Hate Speech in Online Social Networks. *IEEE Access*, 9, 110047-110062.
- Bessi, A. (2017) On the statistical properties of viral misinformation in online social media, *Physica A* 469, 459-470
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Can, Ü., Alataş, B. (2017). Review of Sentiment Analysis and Opinion Mining Algorithms. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(1), 75-111.
- Ceballos Delgado, A. A., Glisson, W., Shashidhar, N., McDonald, J., Grispos, G., Benton, R. (2021). Deception Detection Using Machine Learning. In *Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 7122).
- Conroy, N. J., Rubin, V. L., Chen, Y. (2015). Automatic deception detection: Methods for finding fake news. In *Proceedings of the 78th ASIS&T Annual Meeting: Information Science with Impact: Research in and for the Community* (p. 82). American Society for Information Science.
- Dematis, I., Karapistoli, E., Vakali, A. (2018). Fake Review Detection via Exploitation of Spam Indicators and Reviewer Behavior Characteristics. In *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics* (pp. 581-595). Edizioni Della Normale, Cham.
- Ding, M., Zhao, A., Lu, Z., Xiang, T., & Wen, J. R. (2019). Face-focused cross-stream network for deception detection in videos. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7802-7811).
- Feng, V. W., Hirst, G. (2013). Detecting deceptive opinions with profile compatibility. In *Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Natural Language Processing* (pp. 338-346).
- Fix, E., Hodges Jr, J. L. (1951). Discriminatory analysis-nonparametric discrimination: consistency properties. California Univ Berkeley.
- Friedl, M. A., Brodley, C. E. (1997). Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 61(3), 399-409.
- Friedman, J. H. (2002). Stochastic gradient boosting. *Computational statistics & data analysis*, 38(4), 367-378.
- Göker, H., Tekedere, H. (2017). FATİH Projesine Yönelik Görüşlerin Metin Madenciliği Yöntemleri İle Otomatik Değerlendirilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(3), 291-299.
- Kesarwani, A., Chauhan, S. S., Nair, A. R., & Verma, G. (2021). Supervised Machine Learning Algorithms for Fake News Detection. In *Advances in Communication and Computational Technology* (pp. 767-778). Springer, Singapore.
- Kleinberg, B., Arntz, A., & Verschuere, B. (2019). Being accurate about accuracy in verbal deception detection. *PloS one*, 14(8), e0220228.
- Krishnamurthy, G., Majumder, N., Poria, S., & Cambria, E. (2018). A deep learning approach for multimodal deception detection. *arXiv preprint arXiv:1803.00344*.
- Krishnaveni, N., & Radha, V. (2021). Performance Evaluation of Clustering-Based Classification Algorithms for Detection of Online Spam Reviews. In *Data Intelligence and Cognitive Informatics* (pp. 255-266). Springer, Singapore.
- Kumari, R., Srivastava, S. K. (2017). Machine learning: A review on binary classification. *International Journal of Computer Applications*, 160(7).
- Levine, T. R., Daiku, Y., & Masip, J. (2021). The Number of Senders and Total Judgments Matter More Than Sample Size in Deception-Detection Experiments. *Perspectives on Psychological Science*, 1745691621990369.
- Li, H., Liu, B., Mukherjee, A., Shao, J. (2014). Spotting fake reviews using positive-unlabeled learning. *Computación y Sistemas*, 18(3), 467-475.
- Li, J., Ott, M., Cardie, C., Hovy, E. (2014). Towards a general rule for identifying deceptive opinion spam. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)* (Vol. 1, pp. 1566-1576).
- Litvinova, O., Seredin, P., Litvinova, T., & Lyell, J. (2017). Deception detection in russian texts. In *Proceedings of the Student Research Workshop at the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics* (pp. 43-52).
- Masip, J. (2017). Deception detection: State of the art and future prospects. *Psicothema*, 29(2), 149-159.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.994840

- Merritts, R. A. (2013). Online Deception Detection Using BDI Agents.
- Mullen, L. A., Benoit, K., Keyes, O., Selivanov, D., & Arnold, J. (2018). Fast, Consistent Tokenization of Natural Language Text. *Journal of Open Source Software*, 3(23), 655.
- Osuna, E., Freund, R., Girosit, F. (1997). Training support vector machines: an application to face detection. In *Proceedings of IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 130-136). IEEE.
- Ott, M., Choi, Y., Cardie, C., Hancock, J. T. (2011). Finding deceptive opinion spam by any stretch of the imagination. In *Proceedings of the 49th annual meeting of the association for computational linguistics: Human language technologies-volume 1* (pp. 309-319).
- Peng, C. Y. J., Lee, K. L., Ingersoll, G. M. (2002). An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The journal of educational research*, 96(1), 3-14.
- Peterson, L. E. (2009). K-nearest neighbor. *Scholarpedia*, 4(2), 1883.
- Rill-García, R., Jair Escalante, H., Villasenor-Pineda, L., & Reyes-Meza, V. (2019). High-level features for multimodal deception detection in videos. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 0-0).
- Rosso, P., Cagnina, L. C., (2017). *Deception Detection and Opinion Spam, A practical guide to sentiment analysis*, 155-171, Springer.
- Rubin, V. L., Chen, Y., Conroy, N. J. (2015). Deception detection for news: three types of fakes. In *Proceedings of the 78th ASIS&T Annual Meeting: Information Science with Impact: Research in and for the Community* (p. 83). American Society for Information Science.
- Rudolph, S. (2015). The impact of online reviews on customers' buying decisions. *Business 2 Community*.
- Sternglanz, R. W., Morris, W. L., Morrow, M., & Braverman, J. (2019). A review of meta-analyses about deception detection. *The Palgrave handbook of deceptive communication*, 303-326.
- Van der Walt, E., Eloff, J. H., & Grobler, J. (2018). Cyber-security: Identity deception detection on social media platforms. *Computers & Security*, 78, 76-89.
- Van Der Zee, S., Poppe, R., Havrileck, A., & Baillon, A. (2021). A personal model of Trumpery: linguistic deception detection in a real-world high-stakes setting. *Psychological science*, 09567976211015941.
- Wani, A., Joshi, I., Khandve, S., Wagh, V., & Joshi, R. (2021). Evaluating Deep Learning Approaches for Covid19 Fake News Detection. *arXiv preprint arXiv:2101.04012*.
- Zhu, H., Wu, H., Cao, J., Fu, G., Li, H. (2018). Information dissemination model for social media with constant updates, *Physica A* 502, 469–482



## Bazı Tarımsal Atıkların, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kum.'un Gelişmesi ve Verimi Üzerine Etkisi

Necla Gürsoy<sup>1</sup>, Ömer Faruk Yeşil<sup>2\*</sup>, Abdunnasır Yıldız<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Sur-Diyarbakır, Türkiye

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Tarım Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Sur-Diyarbakır, Türkiye

<sup>3</sup>Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Sur-Diyarbakır, Türkiye

necofungus@gmail.com<sup>1</sup>, \*faruk@dicle.edu.tr<sup>2</sup>, anasir@dicle.edu.tr<sup>3</sup>

Makale gönderme tarihi: 12.07.2021, Makale kabul tarihi: 09.03.2022

### Öz

Çalışmada; aşılama materyali olarak kullanılan "tohumluk miseller"; Diyarbakır çevresinde doğal olarak yetişen *Pleurotus ostreatus*'dan, daha önce elde edilmiş olan kültür örneğinden hazırlanmıştır. "Tohumluk misel" üretiminde, aşılama materyali olarak; buğday taneleri kullanılmıştır. Mantar yetiştirmede, kompost hazırlama işleminde de; buğday sapı, pamuk sapı ham materyal olarak, buğday kepeği, pirinç kepeği ve pamuk küspesi de katkı materyali olarak kullanılmıştır.

Burada; *P. ostreatus*'da en kısa sürede (gün olarak); misel gelişmesi; 13.60, primordium oluşması; 22.40, ilk hasatın elde edilmesi; 27.40 olarak bulunmuştur. Nemli kompostun 100 g'ın da üç hasat toplamı sonunda elde edilen taze mantar miktarı; toplam verim olarak hesaplanmıştır. Toplam verim miktarı, en düşük; 17.68 g olarak pamuk sapı+%15 pirinç kepeğinin kullanıldığı kompost ortamından, en yüksek miktar ise; 36.55 g ile buğday sapı+%10 pamuk küspesi içeren komposttan elde edilmiştir. Sonuç olarak; buğday sapı+%10 pamuk küspesi içeren kompost ortamında, *P. ostreatus* kültürü yapıldığında; daha kısa sürede ve daha yüksek miktarda ürün elde edilebileceği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Hasat süresi, *P. ostreatus*, tarımsal atık, verim miktarı

## The Effect of Some Agricultural Wastes on the Growth and Yield of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kum.

### Abstract

In the study; seed mycelium "spawn" used as grafting material; It was prepared from the previously obtained culture sample from *Pleurotus ostreatus*, which grows naturally Diyarbakir region.

In the production of "spawn", as grafting material; wheat grains were used. In mushroom cultivation, compost preparation process; wheat straw, cotton straw were used as raw materials, wheat bran, rice bran and cotton seed crust were used as additive materials.

In this research, the shortest time (in days) in *P. ostreatus*; mycelium growing days; 13.60 days; formation of primordium 22.40 days; first harvest 27.40 days was determined. The amount of fresh mushrooms obtained after three harvests from 100 g of moist compost; calculated as total yield". The lowest total yield amount was 17.68 g, obtained from cotton straw+%15 rice bran compost media, the highest amount was 36.55 g, obtained from compost of wheat straw+%10 cotton seed crust.

In conclusion, when cultivation of *P. ostreatus* is done in compost media of wheat straw+%10 cotton seed crust, it can be said that more yield can be obtained in less time.

**Keywords:** Harvest time, *P. ostreatus*, agricultural waste, yield amount

### GİRİŞ

Doğada yetişen yenilebilir mantarlar, çok eski zamanlardan beri, insanlar tarafından araziden toplanarak, bir besin maddesi olarak tüketildiği

bilinmektedir. Buna karşılık mantar kültürünün yapılması işlemi, 1650 yılına doğru ilk defa, Fransa'da, Paris çevresinde *Agaricus sp*'un yetiştirilmesi ile başladığı belirtilmektedir.

*P.ostreatus* kültürü ise ilk defa 1900'ün başlarında ABD de başlamıştır (Zhang ve ark.,2013). Yenilebilir mantarların kültür ortamında yetiştirilmesi tarihi, hayvan ve bitkisel ürünlerinkine göre çok yeni olduğu görülmektedir. Ayrıca, *Agaricus*'a göre çok geç tarihte kültüre alınan *Pleurotus*'un yaygın olarak üretimi, dünyada son 30-40 yıl (FAO, 2019), ülkemizde ise son 10-15 yılda olduğu bilinmektedir.

Dünya yıllık mantar üretim miktarı yaklaşık olarak 10 milyon tondur (FAO, 2019). Son 20 yılda dünya mantar endüstrisi, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte çok hızlı bir şekilde büyümüştür (Royse ve ark., 2017). Dünya genelinde mantar üretiminde birinci sırada Asya Kıtası devletleri yer alırken (8.3 milyon ton), ikinci sırada ise Avrupa devletleri yer almaktadır (1.4 milyon ton). Çin, Avrupa ve ABD, dünya mantar üretiminin yaklaşık %95'ini yapmaktadır. Çin, mantar üretiminde %77'lik pazar payı ile dünyada lider ülke konumundadır (FAO, 2019). Türkiye mantar üretim miktarı 1973 yılında 80 ton iken, 2018 yılında bu rakam 65 bin tona çıkmıştır. Son 10 yılda Türkiye'nin farklı illerinde birçok mantar üretim tesisi kurulmuştur (Eren ve ark., 2016). Dünya genelinde yıllık kişi başına mantar tüketimi; 1997 yılında 1.0 kg iken, 2013'te 4.7 kg'a yükselmiştir (Royse ve ark., 2017). Türkiye'de ise 2018 yılı verilerine göre kişi başına düşen mantar tüketim miktarı ortalama olarak 0.8 kg civarındadır (FAO, 2019). Bu verilerde de görüldüğü üzere, Türkiye'de kültür mantarı üretimi ve tüketimi miktarı halen de düşük seviyededir.

Dünyada kültürü yapılan mantar türleri; *Agaricus sp.*, *Pleurotus sp.*, *Lentinula edodes*, *Auricularia sp.*, *Flammulina velutipes* ve *Volvariella volvacea*'dir. dünya genelinde yetiştirilirken, diğer üç tür ise genellikle Asya kıtasında yetiştirilmektedir (Royse, 2014; Royse ve ark., 2017). Dünyada en fazla üretimi yapılan türler ile bunların toplam üretim içindeki payı; birinci sırada %30 ile *Agaricus*. %27 ile ikinci sırada *Pleurotus* ve üçüncü sırada da %17 ile *Lentinus* yer almaktadırlar (Royse, 2014). Türkiye'de *Pleurotus* üretimi, ilk defa araştırma amacıyla, 1980'li yıllarda yapılmaya başlanmıştır. Üreticiler tarafından da, istenen düzeyde olmamakla birlikte, 2010 yıllarda yaygınlaşmaya başlanmıştır. Üretimi ticari olarak 2000 yılına kadar pek yapılmadığı bilinen *Pleurotus*'un, kültür mantarı toplam üretimi içinde payının son yıllarda; %14 (Eren ve Pekşen, 2016) olması; bu türün üretimine olan

ilginin Türkiye'de de arttığını göstermektedir. Yine, Eren ve Pekşen, (2016)'nin de belirttikleri gibi; bölgemizde ve ilimiz Diyarbakır çevresinde, kültür mantarı üretimi Türkiye ortalamasına göre, halen de düşük seviyededir. Üretimin büyük bir kısmı tarıma dayanan bölgemizde, *Pleurotus* üretimi için gerekli olan kompost ham maddesi temini bakımından bol miktarda ve tarımsal yan ürün olan, çeşitli sap ve saman gibi bitkisel atık potansiyeline sahiptir. Tarımsal atık olan farklı substratların mantar kültüründe değerlendirilmesi, olanaklarının saptanması, bölgemizde de kültür mantarı üretiminin gelişmesine katkı sunacağı kanaatindeyiz.

Günümüzde, marketlerin ve mahalle pazarlarının çoğunda, *Pleurotus* türlerinden özellikle *P. ostreatus* satışına rastlamak mümkündür. Yetiştirilmesi kolay ve ucuz, ekolojik istekleri daha geniş, verimi fazla, geniş bitkisel substrat çeşidinin kullanıldığı kompostta yetiştirilebilen, lezzetli ve tıbbi açıdan faydalı olan *Pleurotus* türlerinin daha yaygın bir şekilde yetiştirilmesi, besin açığının ve işsizlik sorununun giderilmesi yanında, anız yakılması olayının ortaya çıkardığı sorunların çözümüne de katkı sunacaktır.

Bitkisel atık olan substratın biyolojik yapısı ve bunların kompost içindeki oranı, misel büyümesi, şapka oluşum ve gelişmesi süresi ile verim miktarını büyük ölçüde etkilediği (Ragunathan ve Swaminathan, 2003) bildirilmektedir. Bu nedenle; bölgemizde, tarımsal üretimde yan ürün olarak bol miktarda elde edilen bazı substratların, *Pleurotus* üretiminde kullanılması olanaklarının belirlenmesi ile bir taraftan bu substratların değerlendirilmesi ile çiftçiler ek kazanç sağlanması, diğer taraftan da kültür mantarı üretiminde değerlendirilmesi olanakları araştırılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, Diyarbakır ili çevresinde doğal olarak yetişen *P.ostreatus* örneğinin kültüre alınmasıyla elde edilen ana kültüründen çoğaltılan "Tohumluk Misel" kompost ortamına aşılama materyali olarak kullanılmıştır (Şekil 1).

Kompost hazırlanmasında, ham materyal olarak; Buğday Sapı (BS) ve Pamuk Sapı (PS), katkı maddesi olarak da; Buğday Kepeği (BK), Pamuk Küspesi (PKü) ve Pirinç Kepeği (PK) kullanılmıştır. Çalışmada, buğday ve pamuk sapı; hem saf olarak ve hem de bunların 1:1 karışımları kullanılmıştır. Ham materyalin, 100 g'ına; kontrol grupları hariç diğer

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.966323

tüm deneme gruplarına katkı maddesi olarak; %10 buğday kepeği ile birlikte %10, 15 ve 20 oranında pirinç kepeği ve pamuk küspesi ilave edilmiştir. Oluşturulan kompost ortamlarının %70-75 oranında nemlenmesi (Zadrazil, 1978; Yıldız ve ark.,1998) için, 48 saat süreyle su dolu plastik kovalarda bekletilmiştir. Daha sonra, her 1 kg kuru materyal hesabıyla; 35 g alçı ve 35 g kireç ilave edilerek, kompost ortamının pH 5,5–6,5 olması sağlanmıştır (Zadrazil, 1978). Hacmi 2 lt olan her bir cam kavanoza, 430 g nemli kompost, 5 tekrarlı olarak doldurularak, kapakları kapatılmıştır. Bu kavanozlar, daha sonra otoklavda 121 °C’ de, 15 dakika süreyle steril edilmiştir. Kompost sıcaklığı, oda sıcaklığına düştükten sonra, cam kavanozların her birine, yaklaşık olarak, ortalama 40 g olacak şekilde tohumluk misel ile aşılama yapılmış ve etiketlenerek, Mantar Kültür Odası’na taşınmıştır.

İnkübasyon oda sıcaklığı, misel gelişim döneminde; 25±1 °C, şapka oluşması ve gelişmesi döneminde 15±1 °C’de sabit tutulmuştur (Zadrazil, 1978; Zadrazil ve Kurtzman, 1982; San Antonio & Hanners, 1984; Manu-Tawiah ve Martin, 1986). Miseller, kompostu tam olarak sardığında, gaz alışverişini sağlamak için kavanozların ağzı açılmıştır. Misellerin kompostu sarmasıyla beraber, oda; iki floresan lamba ile (40 watt’lık) her gün, 12 saat açık tutularak 200 lüks şiddetinde (Kong, 2004) aydınlatılmıştır. Bu odanın neminin %75±5 civarında olması (Delmas ve Mamoun, 1983) için; odanın tabanı sürekli ıslak tutulmuştur. Kompostun

yüzeyinin kurumaması için de günde bir defa pülverizatör ile su püskürtülerek nemlenmesi sağlanmıştır. Nem oranı, Higrometre ile ölçülerek istenilen düzeyde olması sağlanmıştır. Işık şiddeti de lüks metre ile ölçülerek belirlenmiştir. Odanın havalandırılması ise her gün sabah ve akşam birer saat süreyle klimanın çalıştırılmasıyla sağlanmıştır.

Kompost ortamına misellerin aşılmasından, misellerin kültür ortamını sarmasına (Şekil 2) kadar geçen süre; Misel Gelişim Süresi (MGS), primordium (mantar taslağı) oluşumuna kadar geçen süre; Primordium Oluşum Süresi (POS) olarak belirlenmiştir. Misel aşılmasından ürün elde edilinceye kadar geçen süre; Hasat Süresi (HS) ve toplam ürünün elde edildiği süre ise; Toplam Hasat Süresi (THS) gün olarak tanımlanmıştır. Toplam ürün 3 hasat boyunca elde edilen üründen oluşmaktadır.

Hasat yeterince büyümüş ve şapka kenarları da lamellere doğru kıvrık olduğu dönemde yapılmıştır (Şekil 3). Hasat sonunda, elde edilen taze mantar miktarı ve bu miktarın hasat evrelerine dağılımının saptanması; 100 g nemli materyale (yaklaşık olarak %70 nem) düşen taze mantar miktarı g olarak hesaplanmıştır.

#### Verilerin Analizi

Yapılan çalışmada, 5 tekrarlı denemelerden elde edilen verilerin analiz işlemi; Anova Testi kullanılarak yapılmıştır. Gruplar arasındaki farkın belirlenmesinde Duncan Testi kullanılmıştır. Ortalamalar arasındaki fark  $P \leq 0,05$  olduğu zaman önemli olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1.Tohumluk misel (spawn)



Şekil 2. Komposttu misellerin sarması



Şekil 3. Hasat olgunluğuna gelmiş mantar

## BULGULAR VE TARTIŞMA

*P.ostreatus*'un kültürü; farklı bitkisel materyaller üzerinde, birçok araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir (Atilla, 2017; Kibar 2019). Tesfay ve ark., (2020), *P.ostreatus*'un kültürü için pamuk atıkları, kağıt atıkları ve mısır sapını, Nadir (2019) ise *P. ostreatus* kültüründe buğday samanı, buğday kepeği ile nar kabuğunu kullanmışlardır.

Bu nedenle bu çalışmada; *P. ostreatus* kültürü için bölgemizde bol bulunan ve kolay elde edilebilen buğday sapı, pamuk sapı ve pamuk küspesi gibi bitkisel atıklar kullanılmıştır.

Tablo 1'de görüldüğü gibi, *P.ostreatus*' da; MGS en kısa; 13.60 gün olarak K1'de, en uzun ise; 21.60 ile BS+%10PKü'de elde edilmiştir (Tablo 1). MGS için; en kısa süre, saf buğday sapında tespit edilmesine rağmen, bunu pamuk sapı kullanılarak hazırlanan kompostun bütün deneme grupları izlemekte, genel olarak en uzun süre ise buğday sapına katkı maddesi eklenen deneme gruplarında

gözlenmiştir. *Pleurotus* türlerinde (Andrade ark., 2013, Pardo-Gimenez ark., 2016) *P. ostreatus*'un gelişmesi üzerine, kültür ortamında kullanılan bitkisel atıkların biyolojik ve kimyasal yapısının etkili olduğu belirtilmiştir.

Katkı maddesi olarak; buğday kepeği, pirinç kepeği ve pamuk tohumu küspesi ilavesi ile hazırlanan deneme gruplarında, misellerin kompostu sarma süresi ve şapka oluşum süresini kontrol grubuna göre uzattığı görülmektedir (Tablo 1). Bu durum bütün hasatlar boyunca daha fazla miktarda ürün alınmasını sağlayabileceğini düşünmekteyiz (Tablo 2). Pathania ve ark., (2017) elma püresi ve buğday sapı karışımlarından elde edilen ortamlarda *P. ostreatus*'un misel gelişim süresini ortalama 20 gün olarak tespit etmişlerdir. Önceki çalışmalarda, farklı kültür ortamlarında üretilen *P. ostreatus*'un MGS; 10-23 gün (Yıldız ve Demir, 1998), 15.3-23.2 gün (Atilla, 2017), 10.3-15.3 gün, (Kırbag ve Korkmaz, 2013) ve 15-21 gün (Tesfay ve ark., 2020) olarak

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.966323

belirlemişlerdir. Bu çalışmada, MGS konusunda elde edilen veriler, literatürde (Yıldız ve ark., 1998; Kırbag ve Korkmaz, 2013; Atila, 2017; Tesfay ve ark., 2020) belirtilen verilerle uyum göstermektedir.

*P. ostreatus*'da POS, 22.40 gün ile en kısa K<sup>1</sup>'den, en uzun ise 57.80 gün ile BS+%15PK'den elde edilmiştir (Tablo 1). Buna göre, (Tablo 1) POS; en kısa, saf buğday sapında gözlemlenirken, en uzun süre ise buğday sapına pirinç kepeği katkı maddesi ilave edilen deneme grubunda gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda; *P. ostreatus*'da, POS'u 20.0-34.2 gün (Dündar ve Yıldız, 2009), 26.0-28.3 gün (Kırbağ ve Korkmaz, 2013) ve 24-37.5 gün (Teskay ve ark., 2020) olarak bulunmuştur. Literatürde (Teskay ve ark., 2020) şapka oluşumu süresi, kültürde kullanılan bitkisel materyalin çeşidine ve türün biyolojik özelliğine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Çalışmada POS'un; ham materyalin ve buna ilave edilen katkı maddesinin çeşidine ve oranına bağlı olarak değiştiğinin gözlenmesi literatürdeki (Tune ve ark., 2019) bulgularla da uygunluk göstermektedir.

Yapılan çalışmada, ilk hasat süresi; 27.40 gün ile en kısa BS'de, 64.40 gün ile en uzun BS+%15 PK'de belirlenmiştir. THS; 3 hasat süresi boyunca, 46.40 gün ile en kısa BS'de, 102.80 gün ile en uzun BS+%15PK'de saptanmıştır (Tablo 1). *P.ostreatus*'da ilk hasat süresini 29.6-46.4 gün (Dündar ve Yıldız, 2009), 33.3-35.7 gün (Kırbağ ve Korkmaz, 2013), 32.0-36.2 gün (Atila, 2016), 49-67 gün (Pathania ve ark., 2017), 39.2-42.2 gün (Kibar, 2019) ve 29-42.5 gün (Teskay ve ark., 2020) olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada tespit edilen ilk ve toplam hasat süresi, yukarıda diğer araştırmacıların belirttiği sürelerle uyum içindedir. Tablo 1'de de görüldüğü gibi, hasat süresi; katkı maddesi olarak pamuk küspesinin ilave edildiği deneme gruplarında, pirinç kepeğinin kullanıldığı deneme gruplarına göre daha da uzun bulunmuştur.

Arce-Cervantes ve ark., (2015), Pardo-Gimenez ve ark., (2016); kompost bileşiminin C/N oranı uygun olması durumunda, daha kısa sürede ve daha yüksek miktarda ürün elde edileceğini belirtmişlerdir. Kompostta; %68-72 nem, %2.0-2.4 N ve pH 7.4-7.6 olması durumunda daha iyi sonuç elde edilebileceğini belirtmiştir (Royse 2010; Zied ve ark., 2011; Andrade ve ark., 2013). Yine literatürde (Yıldırım ve ark., 2015), şapka oluşumu esnasında, buğday ve pamuk sapı içeren kompostta, lakkaz aktivitesinin yüksek

olduğunu ve bunun da şapka oluşmasında etkili olabileceğini belirtmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.966323

**Tablo 1.** *P. ostreatus* 'un Gelişim Evreleri Üzerine Kullanılan Tarımsal Atıkların Gün Olarak Etkisi (P≤0.05 ).\*

Materyal <sup>x</sup>	MGS X±SD	POS X ±SD	1.HS X ±SD	2.HS X ± SD	3.HS X ±SD
K <sup>1</sup>	13.60±2.30 <sup>ab</sup>	22.40±4.34 <sup>a</sup>	27.40±2.88 <sup>a</sup>	37.00±3.08 <sup>a</sup>	46.40±3.65 <sup>a</sup>
BS+%10PKü	21.60±5.50 <sup>bcde</sup>	35.20±9.76 <sup>ab</sup>	42.00±11.00 <sup>abc</sup>	54.80±18.46 <sup>abc</sup>	67.40±13.28 <sup>bc</sup>
BS+%15PKü	17.20±1.64 <sup>bc</sup>	29.40±7.96 <sup>ab</sup>	42.00±18.19 <sup>abcd</sup>	51.20±15.75 <sup>abc</sup>	60.40±15.58 <sup>bc</sup>
BS+%20PKü	15.60±0.89 <sup>b</sup>	45.60±11.89 <sup>bc</sup>	55.20±7.33 <sup>bcd</sup>	69.20±9.01 <sup>de</sup>	87.00±15.39 <sup>bcd</sup>
BS+%10PK	18.20±5.54 <sup>abcde</sup>	31.20±18.20 <sup>abc</sup>	39.40±16.46 <sup>abc</sup>	47.00±15.54 <sup>abcd</sup>	60.00±21.79 <sup>abc</sup>
BS+%15PK	16.00±0.00 <sup>b</sup>	57.80±16.02 <sup>bcde</sup>	64.40±15.92 <sup>cde</sup>	81.60±17.85 <sup>bcde</sup>	102.80±8.93 <sup>cd</sup>
BS+%20PK	18.40±4.83 <sup>abcde</sup>	52.00±7.81 <sup>bc</sup>	57.80±8.35 <sup>cd</sup>	67.60±6.31 <sup>bc</sup>	83.00±13.51 <sup>bc</sup>
K <sup>2</sup>	14.00±0.00 <sup>a</sup>	42.80±12.48 <sup>abc</sup>	48.20±13.99 <sup>abcd</sup>	63.60±9.79 <sup>bc</sup>	76.80±10.76 <sup>bc</sup>
PS+%10PKü	14.00±0.00 <sup>a</sup>	45.80±4.02 <sup>bc</sup>	52.20±4.76 <sup>bc</sup>	66.80±8.61 <sup>bc</sup>	81.20±8.67 <sup>bc</sup>
PS+15PKü	14.80±1.30 <sup>ab</sup>	40.80±22.54 <sup>abc</sup>	48.00±19.33 <sup>abcd</sup>	64.20±20.41 <sup>abcd</sup>	74.80±20.35 <sup>abc</sup>
PS+%20PKü	15.40±3.13 <sup>abc</sup>	35.60±11.50 <sup>ab</sup>	45.00±9.03 <sup>bc</sup>	56.20±11.95 <sup>abc</sup>	67.40±16.88 <sup>abc</sup>
PS+%10PK	14.20±0.45 <sup>ab</sup>	42.40±7.70 <sup>bc</sup>	53.40±15.52 <sup>bcd</sup>	62.20±14.92 <sup>abc</sup>	68.20±15.19 <sup>abc</sup>
PS+%15PK	13.80±0.45 <sup>ab</sup>	33.80±8.47 <sup>ab</sup>	43.00±3.08 <sup>b</sup>	57.80±8.11 <sup>b</sup>	69.60±6.07 <sup>b</sup>
PS+%20PK	15.80±4.02 <sup>abc</sup>	43.00±2.24 <sup>b</sup>	52.80±5.89 <sup>bc</sup>	61.60±5.98 <sup>bc</sup>	74.20±9.78 <sup>bc</sup>
K <sup>3</sup>	16.20±0.45 <sup>bc</sup>	45.60±9.18 <sup>bc</sup>	60.80±18.46 <sup>bcd</sup>	75.00±16.48 <sup>bcd</sup>	89.80±17.08 <sup>bcd</sup>
BS+PS+ +%10PKü	17.20±2.17 <sup>bc</sup>	45.80±6.14 <sup>bc</sup>	51.80±7.36 <sup>bc</sup>	72.40±11.55 <sup>bcd</sup>	83.20±17.77 <sup>bcd</sup>
BS+PS +%15PKü	18.20±4.92 <sup>abcd</sup>	46.40±5.55 <sup>bc</sup>	52.40±4.45 <sup>c</sup>	65.80±7.01 <sup>bc</sup>	80.00±8.31 <sup>bc</sup>
BS+PS +%20PKü	19.80±5.31 <sup>bcde</sup>	47.60±4.62 <sup>bc</sup>	53.40±4.16 <sup>c</sup>	67.00±8.15 <sup>bc</sup>	82.20±13.48 <sup>bc</sup>
BS+PS +%10PK	15.40±1.34 <sup>ab</sup>	38.20±8.84 <sup>b</sup>	43.40±9.61 <sup>abc</sup>	61.60±16.46 <sup>abc</sup>	75.60±19.26 <sup>abc</sup>
BS+PS +%15PK	15.20±1.79 <sup>ab</sup>	44.60±14.31 <sup>bc</sup>	54.40±17.31 <sup>bcd</sup>	81.60±22.83 <sup>bcde</sup>	94.80±24.62 <sup>bcd</sup>
BS+PS +%20PK	16.20±0.45 <sup>b</sup>	38.40±6.43 <sup>b</sup>	43.40±6.02 <sup>bc</sup>	55.20±8.44 <sup>ab</sup>	69.20±11.50 <sup>bc</sup>

(\*): Aynı sütunda, aynı harflerle gösterilen değerler, istatistiksel olarak birbirinden farklı değildir

(<sup>x</sup>): Kontrol (K) grupları hariç, diğer tüm deneme gruplarına; standart olarak, %10 Buğday kepeği ilavesi yapılmıştır

K<sup>1</sup>: Buğday Sapı, K<sup>2</sup>: Pamuk Sapı, K<sup>3</sup>: 1:1 Buğday Sapı-Pamuk Sapı

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.966323

*P. ostreatus*' da; 100 g nemli komposttan, üç hasat sonundaki toplam verim miktarı; 17.68 g ile en düşük PS%15PK'den, en yüksek ise 36.55 g ile BS%10PKü'den elde edilmiştir (Tablo 2). Tablo 2'de görüldüğü gibi; buğday sapına, katkı maddesi olarak pamuk tohumu küspesinin ilave edildiği gruplarda, diğer deneme gruplarına göre verimin daha yüksek saptanmıştır. Daha önce, *P. ostreatus*'un verim miktarı, 14.3-49.9 g (Dündar ve Yıldız, 2009), 27.3-42.0 g (Kırbağ ve Korkmaz, 2013), 16.3-31.2 g (Atila, 2017); 20.2-33.0 g (Kibar, 2019) ve 17.9-68.2 g (Teskay ve ark., 2020) olarak tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular; bu araştırmacıların elde ettiği sonuçlara yakındır. *Pleurotus spp.*'nin üretiminde değişik bölgesel atık materyaller saf veya karışım şeklinde kullanılabilir. Kullanılan ham materyal ile buna ilave edilen katkı maddelerinin, *Pleurotus spp.*'de ürün elde etme süresi ve verim miktarına etkili olduğu belirtilmiştir (Tune ve ark., 2018). Bu şekilde Tablo 2'de olduğu gibi, *Pleurotus spp.*'nin verim miktarının değiştiğinin gözlenmesi diğer araştırmacıların (Rodriguez Estrada ve Royse, 2007) bulgularıyla uyusmaktadır.

## SONUÇ

Sonuç olarak; *P. ostreatus* kültürü için bölgemizdeki üreticilere, en kısa sürede ve en yüksek miktarda ürün veren 3 farklı kompost formülünü önerebiliriz. Bunlar sırasıyla; BS+%10PKü, PS+%20PKü ve BS+PS+%20PK şeklinde. Yapılan çalışmada görüldüğü gibi, *P. ostreatus*'un kısa sürede yüksek miktarda ürün vermesi yanında, daha basit kültür koşullarında yetiştirilmesi küçük üreticiler için de bir avantaj sağlayabilir. Ayrıca, bölgemizde ve ülkemizde tarımsal üretimde yan ürün olan anız ve pamuk sapının kullanılması ile her yaz mevsiminde gözlenen anız yakma olayın önlenmesinde önemli bir rol oynayacağını düşünmekteyiz. Bu şekilde, *P. ostreatus*'un yetiştirilmesi ile çoğunlukla arazide bırakılan sap ve saman gibi atıklar, sağlıklı bir gıda maddesine dönüşmesinde değerlendirilecektir. Bu da işsizlik sorununun azaltılması yanında, ülke ekonomisine pozitif bir katkı sağlayabilecektir.

## TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma; DÜBAP-13-FF-127 nolu Doktora Tezi Araştırma Projesi olarak, Dicle Üniversitesi

tarafından finanse edilmiştir. Katkılarından dolayı DÜBAP'a teşekkür ederiz.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar bu makaleyle ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar, bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.966323

**Tablo 2.** *P. ostreatus* 'un Farklı Hasat Dönemindeki ile Toplam Verim Miktarı Üzerine Kullanılan Bazı Materyallerin Etkileri (P≤0.05).\*

Materyal <sup>x</sup>	1.HM X±SD	2.HM X±SD	3.HM X±SD	THM X±SD
K <sup>1</sup>	14.08±7.30 <sup>abcde</sup>	14.60±2.80 <sup>cde</sup>	6.78±6.63 <sup>abcd</sup>	35.45±7.25 <sup>cd</sup>
BS+%10PKü	11.71±4.52 <sup>abcd</sup>	14.95±5.08 <sup>bcde</sup>	9.89±6.09 <sup>bcde</sup>	36.55±10.11 <sup>bcd</sup>
BS+%15 PKü	13.46±8.00 <sup>abcde</sup>	12.38±7.24 <sup>abcde</sup>	8.62±6.46 <sup>abcde</sup>	34.46±15.56 <sup>abcde</sup>
BS+%20 PKü	7.90±0.99 <sup>ab</sup>	6.15±2.51 <sup>ab</sup>	6.53±4.64 <sup>abcd</sup>	20.58±6.56 <sup>ab</sup>
BS+% 10 PK	11.12±3.57 <sup>abc</sup>	12.00±6.98 <sup>abcde</sup>	6.30±4.23 <sup>abcd</sup>	29.41±13.50 <sup>abcde</sup>
BS+% 15PK	13.22±0.76 <sup>abc</sup>	9.55±2.01 <sup>bc</sup>	7.60±3.65 <sup>bcd</sup>	30.37±4.91 <sup>bcd</sup>
BS+% 20PK	11.82±3.23 <sup>abc</sup>	8.23±3.93 <sup>abc</sup>	6.56±3.11 <sup>abc</sup>	26.61±8.02 <sup>abc</sup>
K <sup>2</sup>	9.37±2.69 <sup>abc</sup>	10.18±4.86 <sup>abcd</sup>	7.19±4.11 <sup>abcd</sup>	26.73±8.44 <sup>abcd</sup>
PS+%10 PKü	11.07±1.13 <sup>bc</sup>	9.26±1.40 <sup>ab</sup>	5.83±1.73 <sup>bc</sup>	26.16±3.77 <sup>abc</sup>
PS+15PKü	10.94±3.01 <sup>abc</sup>	8.26±4.73 <sup>abc</sup>	5.81±5.95 <sup>abcd</sup>	25.00±12.97 <sup>abcd</sup>
PS+%20PKü	13.00±5.02 <sup>abcd</sup>	9.85±3.27 <sup>abc</sup>	8.32±3.97 <sup>bcd</sup>	31.18±12.08 <sup>abcde</sup>
PS+% 10PK	11.33±3.76 <sup>abcd</sup>	10.85±3.44 <sup>bcd</sup>	6.29±3.75 <sup>abc</sup>	28.46±4.10 <sup>bc</sup>
PS+% 15PK	9.15±2.57 <sup>ab</sup>	5.74±2.27 <sup>ab</sup>	2.79±0.86 <sup>ab</sup>	17.68±3.80 <sup>ab</sup>
PS+% 20PK	12.19±2.52 <sup>abc</sup>	8.30±2.62 <sup>abc</sup>	5.43±2.34 <sup>abc</sup>	25.91±4.04 <sup>bcd</sup>
K <sup>3</sup>	7.92±2.04 <sup>ab</sup>	9.94±5.06 <sup>abcd</sup>	5.49±2.76 <sup>abc</sup>	23.35±6.81 <sup>abc</sup>
BS+PS %10PKü	9.50±2.05 <sup>ab</sup>	7.81±2.40 <sup>abc</sup>	5.13±1.56 <sup>bc</sup>	22.43±4.37 <sup>ab</sup>
BS+PS+%15PKü	10.79±1.16 <sup>bcd</sup>	9.48±2.34 <sup>abcd</sup>	5.75±1.79 <sup>bc</sup>	26.03±3.43 <sup>bc</sup>
BS+PS+%20PKü	10.21±2.49 <sup>abc</sup>	10.36±3.60 <sup>abcd</sup>	8.40±3.60 <sup>bcd</sup>	28.97±8.88 <sup>bcd</sup>
BS+PS+% 10PK	13.89±5.02 <sup>bcde</sup>	9.38±3.44 <sup>abc</sup>	6.22±2.94 <sup>abc</sup>	29.48±10.65 <sup>abcd</sup>
BS+PS+% 15PK	11.69±3.38 <sup>abcd</sup>	10.90±7.12 <sup>abcde</sup>	3.91±2.22 <sup>ab</sup>	26.50±11.38 <sup>abcd</sup>
BS+PS+% 20PK	11.90±2.95 <sup>bc</sup>	10.69±6.84 <sup>abcde</sup>	10.82±6.63 <sup>bcde</sup>	33.40±14.92 <sup>abcde</sup>

(\*): Aynı sütunda, aynı harflerle gösterilen değerler, istatistiksel olarak birbirinden farklı değildir

(<sup>x</sup>): Kontrol (K) grupları hariç, diğer tüm deneme gruplarına; standart olarak, %10 Buğday kepeği ilavesi yapılmıştır

K<sup>1</sup>: Buğday Sapı, K<sup>2</sup>: Pamuk Sapı, K<sup>3</sup>: 1:1 Buğday Sapı-Pamuk Sapı



## KAYNAKLAR

- Andrade, M. C. N. D., Jesus, J. P. F. D., Vieira, F. R., Viana, S. R. F., Spoto, M. H. F., & Minihoni, M. T. D. A. (2013). Dynamics of the chemical composition and productivity of composts for the cultivation of *Agaricus bisporus* strains. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44, 1139-1146.
- Arce-Cervantes, O., Saucedo-García, M., Lara, H. L., Ramírez-Carrillo, R., Cruz-Sosa, F., & Loera, O. (2015). Alternative supplements for *Agaricus bisporus* production and their response on lignocellulolytic enzymes. *Scientia Horticulturae*, 192, 375-380.
- Atila, F. (2016). Effect of different substrate disinfection methods on the production of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agricultural Studies*, 4(4), 2016.
- Atila, F. (2017). Biodegradation of different agro-industrial wastes through the cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr) Kummer. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 11(31), 1-9.
- Delmas, J., & Mamoun, M. (1983). Le Pleurote en corned'abondance un champignon aujourd'hui cultivable en France. *PHM-Revue Horticole*, 240, 39-46.
- Dündar, A. ve Yıldız, A. (2009). Comparative study on *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. cultivated on different agricultural lignocellulosic wastes. *Turkish Journal of Biology*, 33, 171-179.
- Eren, E. ve Pekşen, A. (2016). Türkiye'de Kültür Mantarı Sektörünün Durumu ve Geleceğine Bakış. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 189-196.
- Eren, E., Öztekin, G. B. ve Tüzel, Y. (2016). Türkiye'de Orta ve Büyük Ölçekli Mantar İşletmelerinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi*, 4(3), 230-238.
- Fao (Food and Agricultural Organization). 2019. <http://www.fao.org>, (Erişim tarihi: 08.11.2019).
- Kırbağ, S. ve Korkmaz, V. (2013). Selülozik atıkların *Pleurotus spp.*'nin gelişim periyodu ve verimi üzerine etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 239-244.
- Kibar, B. (2019). Farklı *Pleurotus ostreatus* (İstiridye Mantarı) İzolatlarının Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5(2), 223-230.
- Kong, W. S. (2004). Descriptions of commercially important *Pleurotus species*. Oyster mushroom cultivation. Part II. Oyster mushrooms. Seoul: Heineart Incorporation, 54-61.
- Manu-Tawiah, W., & Martin, A. M. (1986). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* mushroom in peat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37(9), 833-838.
- Nadir, H. A. (2019). Use of pomegranate peel mixed with wheat straw as the substrate to cultivation of two *Pleurotus* species. *Mantar Dergisi*, 10(3), 186-192.
- Pardo-Giménez, A., Catalán, L., Carrasco, J., Álvarez-Ortí, M., Zied, D., & Pardo, J. (2016). Effect of supplementing crop substrate with defatted pistachio meal on *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3838-3845.
- Pathania, S., Sharma, N., & Gupta, D. (2017). A study on cultivation and yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on wheat straw mixed with horticultural waste (apple pomace) in different ratio and their nutritional evaluation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 2940-2953.
- Ragunathan, R. ve Swaminathan, K. (2003). Nutritional status of *Pleurotus spp.* grown on various agro-wastes. *Food chemistry*, 80(3), 371-375.
- Rodriguez Estrada, A.E. ve Royse, D.J. (2007). Yield, size and bacterial blotch resistance of *Pleurotus eryngii* grown on cotton seed hulls/oak sawdust supplemented with manganese, copper and whole ground soybean. *Bioresource Technology*, 98: 1898-1906.
- Royse, D. J. (2010). Effects of fragmentation, supplementation and the addition of phase II compost to 2nd break compost on mushroom (*Agaricus bisporus*) yield. *Bioresource technology*, 101(1), 188-192.
- Royse, D. J. (2014, November). A global perspective on the high five: *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia* & *Flammulina*. In *Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8)* (Vol. 1, pp. 1-6).
- Royse, D. J., Baars, J. & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications*, 5-13.
- San Antonio J. P., & Hanners, P. K. (1984). Using basidiospores of the oyster mushroom to prepare grain spawn for mushroom cultivation. *Hort Science*, 19(5), 684-686
- Shukla, C. S., & Biswas, M. K. (2000). Evaluation of different techniques for oyster mushroom cultivation. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 30(3), 431-432.
- Tesfay, T., Godifey, T., Mesfin, R., & Kalayu, G. (2020). Evaluation of waste paper for cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with some added supplementary materials. *AMB Express*, 10(1), 1-8.
- Tune, B.Y., Yeşil, Ö.F. ve Yıldız, A. (2018). Bazı Tarımsal Atıkların, Kültür Ortamında Yetiştirilen *Pleurotus florida* ve *Pleurotus sajor-caju*'nun Ürün Verme Süresi, Miktarı ve Protein İçeriğine Etkisi.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.966323

- International Journal of Pure and Applied Sciences, 4(2), 133- 138.
- Yildiz, A., Demir, R. (1998). The Effect of Some Plant Materials on the Growth and Productivity of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) Kum. var. *salignus* (Pers. ex. Fr.) Konr. et Maubl. Tr. J. of Biology, 22, 67-73.
- Yildirim, N.,Yildirim, N. C., ve Yildiz, A. (2015). Laccase enzyme activity during growth and fruiting of *Pleurotus eryngii* under solid state fermentation medium containing agricultural wastes. International Journal of Pure and Applied Sciences, 1(1), 64-71.
- Zadrazil, F. (1978). Cultivation of *Pleurotus*. In The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms, eds S. T. Chang & W. A. Hayes. Academic Press, New York, pp. 521±558.
- Zadrazil, F. ve Kurtzman, R. H. (1982). The biology of *Pleurotus* cultivation in the tropics. Tropical Mushrooms, Biology, Nature and Cultivation Methods, 277-298.
- Zhang, Y,Venkitasamy, C., Pan, Z., ve Wang, W. (2013). Recent developments on umami ingredients of edible mushrooms–A review. Trends in foods science&technology, 33(2), 78-92.
- Zied, D. C,Pardo-González, J. E., Minhoni, M. T. A., & Pardo-Giménez, A. (2011). A reliable quality index for mushroom cultivation. *Journal of Agricultural Science*, 3(4), 50.

## Gömülü Sistemler İçin Performansı Arttırılmış HBONet CNN Yaklaşımı

Gürkan Doğan<sup>1\*</sup>, Burhan Ergen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

\*gurkandogan@munzur.edu.tr<sup>ID</sup>, bergen@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 16.09.2021, Makale kabul tarihi: 26.03.2022

### Öz

Son yıllarda, evrişimli sinir ağlarının (CNN) kullanım alanları dikkate değer bir şekilde artmıştır. İş istasyonlarından gömülü cihazlara varıncaya kadar birçok platformda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, her CNN modeli farklı miktarda hafıza, işlemci, depolama birimi kullanmaktadır ve nesne tanımda farklı doğruluk oranlarına sahiptir. Gömülü sistemlerde kullanılacak CNN'lerin daha az maliyetli olması, daha az kaynak tüketmesi ve daha fazla doğruluk oranını başarması gibi bazı zorlukları vardır. Bu zorlukların en iyi üstesinden gelen CNN modellerinden biri de HBONet modelidir. Ancak, bu model gömülü sistemlerde yeterince iyi performans sağlamamaktadır. Bu çalışmada, gömülü sistemler için kullanılan HBONet modelinin kaynak tüketimi ve doğruluk gibi performans metriklerinin daha da iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, HBONet modelini temel alan bir model olan A-HBONet modeli önerilmiştir. CIFAR-10 veri seti kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda, önerilen modelin doğruluğu HBONet modeline göre %3 arttırılırken hafıza ve depolama birimi kullanımı da yaklaşık olarak %80 oranında azaltılmıştır. Bu sonuçlar, önerilen modelin gömülü cihazlarda daha etkin ve verimli çalıştığı göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gömülü sistemler, evrişimli sinir ağları, A-HBONet, CIFAR-10

## Performance Enhanced HBONet CNN Approach for Embedded Systems

### Abstract

In recent years, the usage areas of convolutional neural networks (CNN) have increased remarkably. It is widely used on many platforms, from workstations to embedded devices. However, each CNN model uses a different amount of memory, processor, storage and has different object recognition accuracy rates. CNNs to be used in embedded systems have some difficulties such as being less costly, consuming less resources and achieving higher accuracy. One of the CNN models that best overcomes these difficulties is the HBONet model. However, this model does not perform well enough in embedded systems. In this study, it is aimed to increase the performance of the HBONet model for embedded systems. For this purpose, the A-HBONet model, which is based on the HBONet model, is proposed. As a result of the experiments performed, the accuracy of the proposed model was increased by 3% compared to the HBONet model, while the memory and storage unit usage was reduced by approximately 80%. These results show that the proposed model works more effectively and efficiently in embedded devices.

**Keywords:** Embedded systems, convolutional neural networks, A-HBONet, CIFAR-10

### GİRİŞ

Son yıllarda, nesne tanıma, tespit etme ve semantik bölütleme uygulamaları için derin öğrenme teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, Evrişimli Sinir Ağları (CNN), görsel tanıma görevi için akıllı kameralar (Rinner & Wolf, 2008), robotik navigasyon ve sanal gerçeklik (Weibin Liu, Chao Zhang, & Baozong Yuan, 2002) vb. gibi çeşitli bilgisayar görmesi uygulamalarında oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Evrişimli Sinir Ağları, etkili öğrenme yetenekleri sayesinde, iş istasyonlarından gömülü cihazlara kadar çok geniş bir platform yelpazesine nüfuz etmiştir.

Diğer taraftan, CNN temelli bilgisayar görmesi uygulamaları, iş istasyonları gibi enerjisini şebekeden sağlayan cihazlarda, maliyetli olmasına rağmen donanım kısıtlaması bulunmadığından herhangi bir CNN modeli (Örn:

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.995579

AlexNet(Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012), VGG (Simonyan & Zisserman, 2015) vb. gibi ayırt edilmeden kullanılabilir. Ancak, enerjisini şebekeden almayan cihazlarda; işlemci, hafıza, depolama ve enerji birimi gibi donanım kısıtlamaları söz konusudur. Dolayısıyla, gömülü cihazlarda en az kaynak tüketen ve en yüksek başarıya sahip bir CNN modelini seçmek gerekir. Örneğin, ImageNet (ILSVRC-2012) veri seti ile eğitildiğinde VGG-16 modeli, 138 Milyon parametre sayısı ve 30.9 Milyar tane saniyede kayan nokta işlemine (FLOPs) sahipken MobileNetV2 (Sandler, Howard, Zhu, Zhmoginov, & Chen, 2018b), 3.4 Milyon parametre sayısına ve 0.3 Milyar tane FLOPs işlemine sahiptir (Han, Pool, Tran, & Dally, 2015; Sandler, Howard, Zhu, Zhmoginov, & Chen, 2018a). Bir CNN modelinde parametre sayısı hafıza kullanımının yoğunluğunu belirtirken FLOPs sayısı da hesaplama merkezi olan işlemci kullanımının yoğunluğunu belirtmektedir (Shawahna, Sait, & El-Maleh, 2019). Dolayısıyla, gömülü cihazlarda, daha az parametre sayısı ve FLOPs sayısına sahip bir CNN modeli kullanılmalıdır.

Mobil veya gömülü cihazların kaynak tüketimini dikkate alan çalışmalar içinde HBONet modelinin iyileştirilmesine yönelik herhangi bir çalışma olmamasına rağmen diğer modellerle ilgili çalışmalara rastlamak mümkündür. Bunlardan MobileNetV1(Koonce, 2021),istiflenen derinlemesine ayrıştırılabilir evrişim katmanları üzerine inşa edilmiştir. Bu sayede, mobil cihazlar için daha hafif (lightweight) bir CNN omurgası elde edilmiştir. ShuffleNetV1 (Zhang, Zhou, Lin, & Sun, 2018), noktasal evrişimlerin karmaşıklığını azaltmak için noktasal grup evrişimlerden yararlanan artıklıdarboğazları (residualbottlenecks) ve kanallar arası korelasyonları geliştirmek için kanal karıştırma işlemlerini kullanır. ShuffleNetV2 (Ma, Zhang, Zheng, & Sun, 2018) ise ShuffleNetV1 (Zhang ve ark., 2018)'deki kanal karıştırma işlemlerini sürdürmektedir. Ek olarak, bu modelde, öznelik kanallarının özel konfigürasyonunun ve temel işlem sırasının önerilen pratik kılavuzlara daha iyi uyacak bir şekilde düzenlendiği için kaynak tüketimini daha etkin kullanabilecek tasarımlar sunmaktadır. MobileNetV1 (Koonce, 2021)'i temel olarak geliştirilen MobileNetV2 (Sandler ve ark., 2018a), doğrusal darboğazlara sahip ters artıklı yapısına (invertedresidualstructure) dayanmaktadır. MobileNetV2, doğruluk ve verimlilik açısından

önceki sürüme göre daha iyi bir denge sağlamaktadır.

MobileNetV1 (Howard ve ark., 2017), MobileNetV2 (Sandler ve ark., 2018b) ve HBONet (Li, Zhou, & Yao, 2019) CNN modelleri, gömülü cihazlar için tanıtılan birkaç modelden biridir. Bu modeller içinde kaynak tüketimini ve doğruluğu en iyileştirilen model, HBONet'tir. Ancak, gömülü cihazlar için kaynak tüketimi ve doğruluk açısından HBONet modelinin daha da iyileştirilerek performansının artırılması bu çalışmanın ilham kaynağı olmuştur. Bu çalışmada, HBONet modelini temel olarak türettiğimiz A-HBONet modelini önerdik. Önerilen model, HBONet'in kullandığı katman ve blok yapılarını baz alarak türetilmiştir. A-HBONetmodelinin HBONet modelinden en büyük farkı, bazı hiper parametrelerin ve yığın (stack) yapısının farklı olmasıdır. Önerilen ağ modeli olan A-HBONet 'in mevcut HBONet modeline kıyasla katkıları şunlardır;

- Nesne tanıma görevlerinde performans ölçütü olarak kullanılan doğruluk oranı yaklaşık %3 arttırılmıştır,
- Gömülü sistemlerde en önemli kaynaklardan biri olan hafıza tüketimi, yaklaşık olarak %80 oranında azaltılmıştır, bir diğer önemli kaynak olan depolama birimi tüketimi ise yaklaşık olarak %79 oranında azaltılmıştır.

Gerçekleştirilen deneysel testler sonucunda önerilen modelin parametre sayısı ve model boyutu muazzam bir şekilde azaltılırken modelin nesne tanıma başarısı da önemli ölçüde arttırılmıştır. Dolayısıyla, önerilen model, gömülü cihazlarda diğer mobil CNN modellerine göre daha etkin ve verimli bir şekilde çalışabilmektedir.

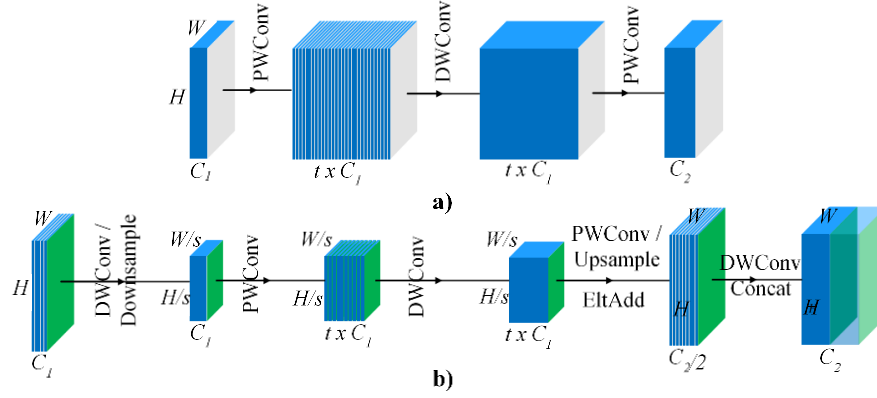
Bu makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir; İkinci bölümde ilgili çalışmalara yer verilirken, üçüncü bölümde temel mimari ele alınmıştır. Dördüncü bölümde önerilen yaklaşım, öğrenme oranı planlaması ve veri artırma sunulurken, beşinci bölümde deneyler ve sonuçlar sunulmaktadır. Son olarak, altıncı bölümde genel sonuçlar paylaşılmaktadır.

## HBONET MİMARİSİ

HBONet (Li ve ark., 2019) CNN modeli, MobileNetV2 (Sandler ve ark., 2018a) referans alınarak geliştirilmiştir. Özellikle, MobileNetV2 'in darboğaz blokları,iki ortogonal boyut (HBO) boyunca uzanan HarmoniousBottleneck

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.995579

(HarmoniousBottleneck on two katman ve ters artıklı blokların oluşturduğu Orthogonaldimensions - HBO) blokları,evrişimli



Şekil 1. Darboğaz katmanlarını kıyaslama; a) Derinlemesine Ayrılabilir Evrişim Katmanı, b) HarmoniousBottleneck Katmanı (Li ve ark., 2019).

yığın yapısı ile değiştirilerek inşa edilmiştir. Bu sayede, hesaplama maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır. HBO, uzamsal bir daralma-genişletme bileşeni ve bir kanal genişletme-daralma bileşeninden oluşan iki taraflı simetrik bir yapı aracılığıyla, derinlemesine evrişimsel özelliklerin uzamsal ve kanal boyutları arasındaki karşılıklı bağımlılıkları ortaklaşa kodlayarak meydana gelmektedir. Hem uzamsal hem de kanal boyutlarına odaklanmak için HarmoniousBottleneck yaklaşımında derinlemesine ayrıştırılabilir evrişim kullanılır. Bu yöntem iki bölüme ayrılmıştır: ilk olarak,  $h/s \times w/s \times c_1$  kanallarını sabit tutarken uzamsal boyutun aşağı doğru örneklenmesi ve daha sonra  $h/s \times w/s \times t \times c_1$  kanallarının genişletilmesi ve ikincisi,  $h \times w \times c_2/2$  kanal indirgemesinin yarıya indirilmesi sırasında uzamsal boyutların yukarı doğru örneklenmesi ve son olarak  $h \times w \times c_2/2$  giriş tensörünün veya birleştirilmiş(pooled) versiyonunun kısmi kanallarıyla birleştirilmesi. Uzamsal daralma-genişletme bileşenini mevcut bloklarla birleştirdikten sonra, toplam hesaplama maliyeti şu şekilde olur:

$$Cost = \frac{B}{s^2} + \left[ \left( \frac{h}{s} \times \frac{w}{s} \times c_1 \right) + (h \times w \times c_2) \right] \times k^2 \quad (1)$$

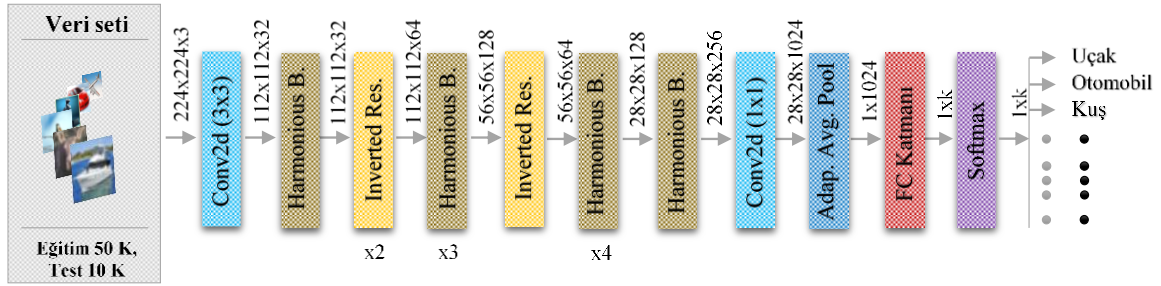
Denklem (1) 'de B, uzamsal daraltma ve genişletme işlemleri arasına yerleştirilen blokların orijinal hesaplama maliyetini göstermektedir. Bunun yanı sıra, s, adımı (stride) ifade ederken k, çekirdek boyutunu (kernel size), h ve w sırasıyla öznitelik haritasının (featuremap) yükseklik ve genişliğini, c ise kanal sayısını ifade etmektedir.

İki ortogonal boyut (HBO) boyunca uzanan HarmoniousBottleneck, Şekil 1'de görüldüğü gibi; iki taraflı simetrik bir biçimde düzenlenmiş olan uzamsal boyutların (h, w) daralması-genişlemesi ve kanal boyutlarının (c) genişlemesi-daralması olmak üzere iki bölümden oluşur. İlk olarak, kanal boyutları sabit tutulur ve uzamsal boyutlardan öznitelikler çıkarılır. İkinci olarak, uzamsal boyutlar sabit tutulur ve kanal boyutlarından öznitelikler çıkarılır. Bu işlemler, modelin doğruluğunu artırmaktadır.

HBONet, öznitelik çıkarmak için evrişimli katmanlarını, mobil terslenmiş (inverted)darboğaz ve harmoniousbottleneck katmanlarını kullanır. Tablo 1 'de orijinal HBONet mimarisi sunulmuştur.

Tablo 1. HBONet Mimarisi (Li ve ark., 2019).

Girdi B.	Blok/Katman	t	c	n	s
224 <sup>2</sup> x3	Conv2d 3x3	-	32	1	2
112 <sup>2</sup> x32	Harmonious Bottleneck	1	20	1	1
112 <sup>2</sup> x20	Harmonious Bottleneck	2	36	1	1
112 <sup>2</sup> x36	Harmonious Bottleneck	2	72	3	2
56 <sup>2</sup> x72	Harmonious Bottleneck	2	96	4	2
28 <sup>2</sup> x96	Harmonious Bottleneck	2	192	4	2
14 <sup>2</sup> x192	Harmonious Bottleneck	2	288	1	1
14 <sup>2</sup> x288	Conv2d 1x1	-	144	1	1
14 <sup>2</sup> x144	Inverted Residual	6	200	2	2
7 <sup>2</sup> x200	Inverted Residual	6	400	1	1
7 <sup>2</sup> x400	Conv2d 1x1	-	1600	1	1
7 <sup>2</sup> x1600	Avgpool	-	-	1	-
1 <sup>2</sup> x1600	Conv2d 1x1	-	k	-	-



Şekil 2. Önerilen yaklaşımın şematik tasarımı

### ÖNERİLEN YAKLAŞIM: A-HBONET

Orijinal HBONet(Li ve ark., 2019) CNN modelinin doğruluğunu arttırmak ve kaynak tüketimini azaltmak için evrişimliveya darboğaz katmanlarını verimli bir şekilde kullanarak öznitelikleri çıkarmak gerekir. Önerilen mimari olan A-HBONet 'te doğruluğu arttırıp kaynak maliyetini düşürmek için orijinal HBONet 'teki ters artıklı(InvertedResidual), HarmoniousBottleneckve Noktasal (Pointwise) evrişimli katmanlarının genişleme faktörü (t), kanal sayısı (c), tekrar faktörü (n) ve adım (stride) boyutu (s) gibi bazı hiper parametreler ve istiflenme düzeni değiştirilmiştir.

Tablo 2. Arttırılmış HBONet (A-HBONet) Mimarisi

Girdi B.	Blok/Katman	t	c	n	s
224 <sup>2</sup> x3	Conv2d 3x3	-	32	1	2
112 <sup>2</sup> x32	Harmonious Bottleneck	2	32	1	1
112 <sup>2</sup> x32	Inverted Residual	1	64	2	1
112 <sup>2</sup> x64	Harmonious Bottleneck	2	128	3	2
56 <sup>2</sup> x128	Inverted Residual	1	64	1	1
56 <sup>2</sup> x64	Harmonious Bottleneck	1	128	4	2
28 <sup>2</sup> x128	Harmonious Bottleneck	2	256	1	1
28 <sup>2</sup> x256	Conv2d 1x1	-	1024	1	1
28 <sup>2</sup> x1024	Avgpool	-	1024	1	-
1x1024	FC Layer	-	k	1	-
1xk	Sofmax	-	k	1	-

Diğer taraftan, ters artıklı ve harmonious bottleneck gibi farklı blok gruplarından elde edilen ara öznitelikleri, düşük boyutlu temsil edebilmek için noktasal evrişimli katmanı da kullanılmaktadır.

Tablo 2 'de önerilen modelin mimarisi verilirken Şekil 2 'de de önerilen yaklaşımın şematik tasarımı verilmiştir. Bu model ile orijinal HBONet modelinin doğruluğu yaklaşık olarak %3 arttırılırken model boyutu 9 MB kadar azaltılmıştır.

### Öğrenme Oranı Planlaması (LR Scheduling)

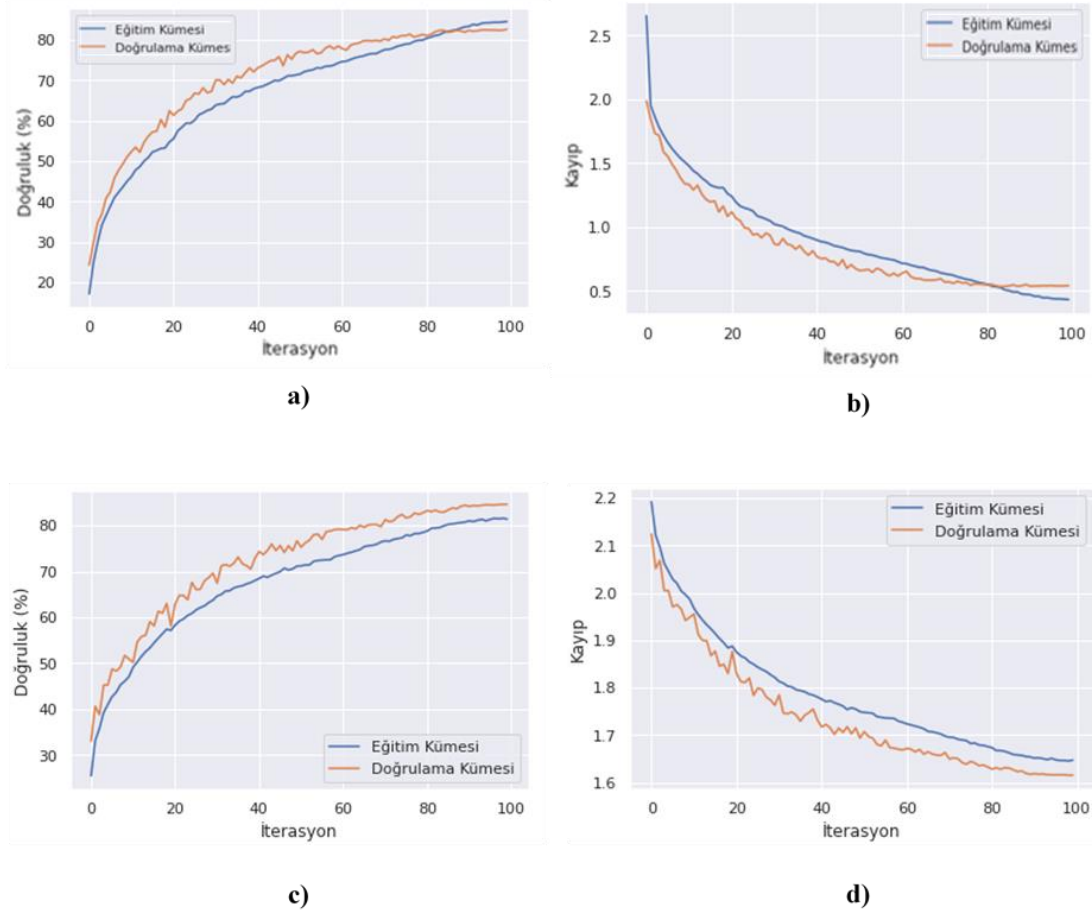
Orijinal HBONet modeli ve önerilen A-HBONet modelinin doğruluğunu arttırmak için farklı öğrenme oranları (LR) iteratif olarak kullanılmıştır. Bunlar içerisinde en ünlü olanlar; Step LR, Multistep LR, Exponential LR, Cosine Annealing LR 'dır. Bu çalışmada, diğer LR'lerden daha iyi bir sonuç ürettiği için Cosine Annealing Öğrenme Oranı(Loshchilov & Hutter, 2017) kullanılmıştır. CosineAnnealing LR yöntemi ile her bir batch 'te öğrenme oranı aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$n_t = n_{min}^i + \frac{1}{2}(n_{max}^i - n_{min}^i) \left(1 + \cos\left(\frac{T_{cur}}{T_i} \pi\right)\right) \quad (2)$$

Denklem (2) 'de  $n_{min}^i$  ve  $n_{max}^i$ , öğrenme oranı aralığıdır.  $T_{cur}$ , son yeniden başlatmadan beri gerçekleşen iterasyon sayısıdır.  $i$ , yürütme indeksi ve  $t$ , herbir batch iterasyonunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada, The Stochastic Gradient Descent (SGD) algoritması temelli Cosine Annealing yöntemi ile planlama (scheduling) yapılmıştır. Bunun için SDG parametrelerinden öğrenme oranı, 0.1 'e, momentum 0.9, weightdecay $10^{-4}$  'e ayarlanmıştır ve eğitim 100 iterasyon (epoch) kadar sürmüştür.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.995579



Şekil 3. CNN modellerinin doğruluk ve kayıp grafikleri; a) HBONet doğruluk, b) HBONet kayıp, c) A-HBONet doğruluk and d) A-HBONet kayıp

### Veri Arttırma

Cutout(DeVries & Taylor, 2017), veri arttırmada (dataaugmentation) kullanılan tekniklerden biridir. Bu teknik, eğitim esnasında girdi görüntülerinin rastgele bölümlerini maskeleyerek / kapatarak veri kümesini etkin bir şekilde arttırmayı amaçlayan evrişimlisinir ağları için basit bir düzenleme (regularization) tekniğidir. Cutout, kapalı örnekleri simüle eder ve modeli karar verirken birkaç ana özelliğin varlığına güvenmek yerine daha küçük özellikleri dikkate almaya teşvik eder.

Bu çalışmada, ağ modellerinin eğitiminden önce CIFAR-10 veri setine; cutout, rastgele yatay çevirme ve rastgele kırma teknikleriyle veri arttırma uygulanmıştır. Bu sayede, CIFAR-10 veri setinin daha kararlı olması amaçlanmıştır.

### DENEYLER SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, 50 bin eğitim görüntüsünden ve 10 bin test görüntüsünden oluşan CIFAR10 (Krizhevsky, 2009) veri seti,yine aynı sayıda görüntü içerecek biçimde fakat daha dengeli olması için veri arttırma yapılarak kullanılmıştır. Orijinal HBONet, önerilen A-HBONet CNN modelleri ve yeniden uygulaması yapılan diğer CNN modelleri, veri arttırma teknikleri uygulanan CIFAR-10 veri seti ile 100 iterasyon boyunca eğitime tabi tutulmuştur. Batch size, eğitim için 128 ve doğrulama (validation) için 100 olarak belirlenmiştir. İterasyon sayısı ve batch size, ağ modellerinin öğrenmesini en hızlı sağlayacak ve ezberleme yapmayacak bir şekilde iteratif deneme ile belirlenmiştir. Modellerin eğitimi ve deneysel testleri için aşağıdaki donanım ve yazılımlar kullanılmıştır;

- Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.30GHz,
- 24 GB RAM,
- Tesla P100-PCIE-16GB,
- Python 3.7.11 versiyonu,
- Pytorch 1.9.0 versiyonu.

Deneysel testleri kaynak tüketimi ve doğruluk açısından değerlendirebilmek için modellerin doğruluğu, parametre sayısı, saniyede kayan nokta

işlemi(FLOPs) ve model boyutu gibi metrikler kullanılmıştır. Şekil 3 'te orijinal HBONet ve önerilen HBONet (A-HBONet) modellerinin doğruluk ve kayıp grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden de görüldüğü gibi HBONet modelinin doğruluğu maksimum yaklaşık olarak %81 oranında başarı sağlarken A-HBONet 'te bu oran maksimum yaklaşık

**Tablo 3.** CIFAR10 seti ile çeşitli genişlik çarpanlarına sahip farklı CNN modelleri için performans karşılaştırması

Genişlik Çarpanı (Width Multiplier)	Model Adı	Genel Doğruluk (%)	Parametre Sayısı (M)	GFLOPs (224x224)	Model Boyutu (MB)
<b>1.00</b>	HBONet	81.31	2.98	0.31	11.6
	<b>A- HBONet</b>	<b>84.57</b>	<b>0.61</b>	<b>0.58</b>	<b>2.49</b>
<b>0.75</b>	HBONet	81.91	1.87	0.20	7.38
	<b>A- HBONet</b>	<b>83.33</b>	<b>0.41</b>	<b>0.38</b>	<b>1.70</b>
<b>0.50</b>	HBONet	72.34	0.95	0.10	3.86
	<b>A- HBONet</b>	<b>81.1</b>	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>	<b>1.05</b>
<b>0.25</b>	HBONet	68.08	0.35	0.04	1.52
	<b>A- HBONet</b>	<b>75.03</b>	<b>0.11</b>	<b>0.09</b>	<b>0.55</b>

olarak %84.5 'e çıkmaktadır. Kayıp grafikleri değerlendirildiğinde de HBONet modeli daha başarılı olduğu görülmektedir.

CIFAR10 test seti kullanılarak HBONet ve A-HBONet CNN modellerinin evrişim katmanlarındaki öznetelik çıkarma sayısını belirleyen çeşitli genişlik çarpanlarına (Width Multiplier) göre performans kıyaslaması Tablo 3'te verilmiştir. Performans kıyaslamasında kullanılan metriklerinden FLOPs için girdi boyutu 3x224x224 olarak verilirken diğer metrikler için CIFAR10 veri seti kullanılmıştır. Bu performans metriği önerilen

modelde, orijinal modele göre daha fazla hesaplama karmaşıklığı yaratsa bile doğruluk, parametre sayısı ve model boyutunda dikkate değer bir iyileştirme yapıldığı gözlemlenmektedir. Diğer taraftan, tablo 3'te yer alan genel doğruluk ile veri setindeki doğru tahmin edilen görüntülerin tüm görüntülere oranı vurgulanmaktadır. A-HBONet modeli, genişlik çarpanı azalsa dahi genel doğruluk performans metriğindeki yüksek doğruluk başarısını sürdürme eğilimindedir. Dolayısıyla, önerdiğimiz model doğruluk metriği için daha kararlı bir yapıya sahiptir.

**Tablo 4.** Literatürdeki diğer çalışmalarla sonuçlarının karşılaştırılması

Ağ Modeli	Yıl	Dataset	Param. Sayısı (Milyon)	Genel Doğruluk(%)	GFLOPs (224x224)
ShuffleNetV2 (Ma ve ark., 2018)	2018	ImageNet	-	69.4	0.15
MobileNetV1 (Howard ve ark., 2017)	2017	ImageNet	4.2	70.6	0.57
MobileNetV2 (Sandler ve ark., 2018b)	2018	ImageNet	3.4	72.0	0.30
HBONet(Li ve ark., 2019)	2019	ImageNet	-	73.1	0.30
ShuffleNetV2 (Ma ve ark., 2018) (re-imp)	-	Cifar10	2.3	81.9	0.15
MobileNetV2 (Sandler ve ark., 2018b) (re-imp)	-	Cifar10	2.2	81.9	0.31
HBONet(Li ve ark., 2019) (re-imp)	-	Cifar10	2.9	81.3	0.31
<b>A- HBONet</b>	-	Cifar10	<b>0.6</b>	<b>84.5</b>	<b>0.58</b>

Genişlik çarpanı 1.0 için, önerilen modelde, orijinal HBONet'e göre yaklaşık olarak %3 oranında doğruluk değeri daha yüksek çıkmaktadır. Bu oran genişlik faktörünün azalmasıyla daha da

artmaktadır. Bir diğer metrik olan parametre sayısı değerlendirildiğinde ise genişlik çarpanı 1.0 'da, önerilen model orijinal modele göre yaklaşık 4 kat daha az parametreye sahiptir. Parametre sayısı, bir



cihazın kullandığı hafıza (memory) miktarını belirlediği için gömülü cihazlar için çok önemli bir metriktir. Model boyutu metriği ise orijinal modele göre yaklaşık olarak 4 kat azaltılmıştır. Bu metrikte gömülü cihazlarda kullanılan depolama birimini ne kadar kullandığını belirttiği için gömülü cihazlarda çok önemli bir başka metriktir. Önerilen CNN modeli ile gömülü cihazlardaki kısıtlı donanım kaynakları için parametre sayısı ve model boyutu etkin şekilde azaltılırken modelin doğruluk başarısının da dikkate değer bir şekilde artırıldığı görülmektedir.

Tablo 4'te literatürde yer alan diğer mobil CNN yöntemleri ile bizim önerdiğimiz A-HBONet modelinin karşılaştırılması 1.0 genişlik çarpanına göre verilmiştir. Mobil CNN modellerinden ShuffleNetV2, MobileNetV1-V2 ve HBONet, ImageNet veri seti kullanılarak deneysel testleri yapılmıştır. Bizim çalışmamızda ise donanım kaynakları yetersiz olduğu için ImageNet dataseti yerine daha küçük boyutlu olan Cifar10 veri seti kullanılmıştır. Dolayısıyla değerlendirmeyi daha sağlıklı yapabilmek için ShuffleNetV2, MobileNetV2 ve HBONet modelleri, Cifar10 veri seti kullanılarak yeniden uygulaması (re-imp) yapılmıştır. ImageNet dataseti ile yapılan çalışmalarda en yüksek genel doğruluk oranına HBONet, %73.1 ile ulaşmıştır. Cifar10 dataseti ile yapılan çalışmalarda ise en yüksek genel doğruluk oranına %84.5 ile önerdiğimiz A-HBONet modeli ulaşmıştır. Bununla birlikte A-HBONet modeli, diğer modellere göre en az parametre sayısına sahiptir. Dolayısıyla, en az hafıza tüketimini önerdiğimiz model sağlamaktadır. Diğer taraftan önerdiğimiz modelin, diğer modellere göre FLOPs sayısı daha fazladır. Ancak bu, gelişen işlemci teknolojileri sayesinde bir sorun teşkil etmemektedir.

Sonuç olarak, önerdiğimiz model olan A-HBONet'in literatürdeki diğer çalışmalara göre avantajı düşük hafıza ve depolama birimi kullanımı ile yüksek doğruluk oranı sağlamasıdır. A-HBONet'in bu başarısı, mobil cihazlarda daha verimli ve etkin kullanımını mümkün kılmaktadır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, HBONet CNN mimarisi temel alınarak ve bazı değişiklikler yapılarak yeni bir mimari olan A-HBONet önerilmiştir. Önerilen model, HBONet modelinin bazı katman ve blok

yapılarını kullanarak türetilmiştir. A-HBONet modelinin HBONet modelinden en önemli farkı kullanılan hiper parametreler ve yığın (stack) yapısıdır. Önerilen model, diğer modellere göre doğruluk oranı daha yüksek, kaynak tüketimi daha az olan verimli bir modeldir. Doğruluk oranı orijinal modele göre yaklaşık olarak %3 daha yüksektir. Bunun yanı sıra, A-HBONet ile birlikte parametre sayısı, 2.98 Milyondan 0.61Milyona ve model boyutu 11.6 Megabayttan 2.49 Megabayta düşürülmüştür. Bu sayede, önerilen modelin gömülü cihazlarda verimli ve etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlanmıştır. Önerilen model, mobil cihazlarda görüntü sınıflandırma, nesne tanıma ve semantik bölütleme görevleri için kullanılabilir. Gelecek çalışmalarımızda, gömülü sistemler için sadece modelin hafıza ve depolama birimi değil, işlemci biriminin kullanımını da azaltacak yöntemler üzerinde çalışma yapmayı planlamaktayız.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## REFERENCES

- DeVries, T., & Taylor, G. W. (2017). *Improved Regularization of Convolutional Neural Networks with Cutout*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1708.04552>
- Han, S., Pool, J., Tran, J., & Dally, W. J. (2015). Learning both weights and connections for efficient neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems, 2015-Janua*, 1135–1143.
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., ... Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *ArXiv*.
- Koonce, B. (2021). MobileNet v1. *Convolutional Neural Networks with Swift for Tensorflow*, 87–97. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6168-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6168-2_8)
- Krizhevsky, A. (2009). *CIFAR10 Dataset*. Retrieved from <https://www.cs.toronto.edu/>

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.995579

kriz/cifar.html

- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems, 1*, 1097–1105. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- Li, D., Zhou, A., & Yao, A. (2019). HBONet: Harmonious bottleneck on two orthogonal dimensions. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2019-October*, 3315–3324. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00341>
- Loshchilov, I., & Hutter, F. (2017). SGDR: Stochastic gradient descent with warm restarts. *5th International Conference on Learning Representations, ICLR 2017 - Conference Track Proceedings*, 1–16.
- Ma, N., Zhang, X., Zheng, H. T., & Sun, J. (2018). Shufflenet V2: Practical guidelines for efficient cnn architecture design. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 11218 LNCS*, 122–138. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01264-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01264-9_8)
- Rinner, B., & Wolf, W. (2008). An introduction to distributed smart cameras. *Proceedings of the IEEE*, 96(10), 1565–1575. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2008.928742>
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018a). MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. *ArXiv*, 4510–4520.
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018b). MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4510–4520. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00474>
- Shawahna, A., Sait, S. M., & El-Maleh, A. (2019). FPGA-Based accelerators of deep learning networks for learning and classification: A review. *IEEE Access*, 7, 7823–7859. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2890150>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*, 1–14.
- Weibin Liu, Chao Zhang, & Baozong Yuan. (2002). *AVR theory, techniques and application*. (69775003), 1163–1166. <https://doi.org/10.1109/icosp.2000.891751>
- Zhang, X., Zhou, X., Lin, M., & Sun, J. (2018). ShuffleNet: An Extremely Efficient Convolutional Neural Network for Mobile Devices. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 6848–6856. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00716>

## Evaluation of the Microbiological Quality and Public Health Risks of Urban Beaches on the Munzur and Pülümür Streams in Tunceli Province

Banu Kutlu<sup>1\*</sup>, Serdar Çetindağ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Munzur University, Faculty of Fisheries, Tunceli, Turkey

<sup>2</sup> Tunceli Provincial Health Directorate Tunceli, Turkey

\*banukutlu@munzur.edu.tr<sup>ID</sup>, serdarçetindag@gmail.com<sup>ID</sup>

Received date:16.09.2021, Accepted date: 29.12.2021

### Abstract

The study is aimed to evaluate the microbiological quality of water samples obtained from the beaches of the Munzur and Pülümür streams in Tunceli province, during the summer season of 2019. The samples were analyzed for the fecal indicator bacteria to reveal the bathing water quality of these beaches. The samples were collected from 10 sampling points in the study region between June and September 2019. Fecal streptococci, total coliform, fecal coliform bacteria were determined the highest in August and the lowest in May and July according to the analysis. The data were evaluated according to the bathing water quality directive. The bathing water quality was identified as class B for all the sample points on the beaches. It was found that there was no data exceeded the mandatory value, as per the bathing water directive. This has been applied for the first time for inland waters. Esinti, Halbori, Kavacık, Kutu Stream, and Anahita beaches were found to be most suitable for swimming. According to the results obtained, it was determined that Tunceli city beaches are not polluted in terms of microbial parameters. However, in this study, it is recommended to carry out regular monitoring and evaluation by using appropriate methods to reduce the microbial load in the Munzur Stream and Pülümür Stream basins.

**Keywords:** Fecal indicator, microbial assessment, Tunceli Beaches

## Tunceli İli Munzur ve Pülümür Çayı Kent Plajlarının Mikrobiyolojik Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Halk Sağlığı Riskleri

### Öz

Tunceli ili Munzur ve Pülümür çayı üzerindeki plajlarının 2019 yılı yaz sezonu boyunca çay suların numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları fekal indikatör bakteri açısından uygunluğu değerlendirilmesi ve bu plajların yüzme suyu kalitesinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma 2019 yılında Haziran- Eylül ayları arasında Tunceli ili Pülümür ve Munzur Çayları üzerinde 10 numune alma noktasından numunelerinin mikrobiyolojik sonuçları dâhil edilerek veriler yüzme suyu kalitesi yönetmeliğine göre değerlendirilmiştir. Fekal streptokok, toplam koliform, fekal koliform bakteri analize göre en yüksek Ağustos ayı, en düşük ise Mayıs, Temmuz ayında tespit edilmiştir. Pülümür ve Munzur Çayı üzerindeki plajlardan alınan tüm numune noktalarındaki yüzme suyu kalite sınıfının B sınıfı olduğu belirlenmiştir. İlk defa iç sulara uygulanan yüzme suyu ilgili yönetmenliğim zorunlu değeri aşan veri olmadığı tespit edilmiştir. Esinti, Halbori, Kavacık, Kutu deresi, Anahita plajları yüzme için en tüm zamanlarda elverişli yüzme alanlarıdır. Elde edilen sonuçlara göre Tunceli kent plajları mikrobiyal parametreler açısından kirli olmadığı belirlenmiştir. Fakat bu çalışmada Munzur Çayı ve Pülümür çayı havzasındaki mikrobiyal yükü azaltmak için uygun yöntemler kullanılarak düzenli izleme ve değerlendirme yapılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fekal indikatör, mikrobiyal değerlendirme, Tunceli Plajları

### INTRODUCTION

Many water resources worldwide are affected by intense anthropogenic activities (Hering et al., 2015). These pollution sources can be either point-based or can spread with the flow regime. However,

in recent years, the construction of dams has caused interruptions in the natural flow of the rivers and disruption of the organic matter cycle and river flow activity (Boehm et al., 2009). The physicochemical

properties of a river play an important role in the ecological processes of aquatic ecosystems by having a direct or indirect effect on the entire physical habitat (Tamer and Çolaker, 2020; Verep et al., 2019; Wu et al., 2014). In addition, the pollution load from domestic and agricultural land constitutes an important factor in river pollution (Hilton et al., 2006; Mutlu and Verep, 2018). Treatment facilities for the prevention of this pollution are very costly and cause a decrease in biological diversity, leading to the dominance of single species (Binzer et al., 2016).

In recent years, there has been a gradual increase in recreational water activities around the world. Water-based recreational activities such as swimming, rafting, underwater diving, jet-skiing water skiing, and canoeing are becoming increasingly common in countries like Turkey, which is rich in water resources. However, these anthropogenic activities are also affecting freshwater resources (Hering et al., 2006). The lotic ecosystems present in the freshwater bodies are most vulnerable to pollution due to transportation of industrial and municipal wastewater and agricultural runoff (Ammar et al., 2015; Baran et al., 2016). In addition, the residential settlements around rivers and streams directly affect the quality of water. Many environmental factors like the discharge of mine waste leachate, agricultural irrigation, sewage, and other wastes lead to heavy metal pollution in water bodies. Studies have shown that swimming and recreational activities in polluted waters can increase the likelihood of eye and ear infections, gastrointestinal and respiratory tract diseases (Yaşar, 2019; Wade et al., 2006; Wiedenmann et al., 2006; Whitmann et al., 2014). Many countries have imposed legal regulations for recreational activities to protect public health. In this context, the “Bathing Water Directive” was published in Turkey in the official gazette number 26048 (76/160/EU) on 9<sup>th</sup> January 2006. This directive aims at determining the water quality for swimming and recreational purposes and preventing water contamination from microbiological pollutants. According to the directive, regular samples are collected from the bathing water by the Ministry of Health to analyze the chemical and fecal indicator bacteria levels, and to determine the quality classification of the bathing water (Bonilla et al., 2007).

The present study aims to determine the conformity of the microbiological analysis of the beach water samples collected during the summer season of 2019–2020 in Tunceli province. To evaluate the bathing water quality of these beaches, the samples were tested in terms of fecal indicator bacteria (FIB) levels.

## MATERIAL and METHODS

The Munzur Stream, originates from the Munzur Mountains and flows rapidly southward through deep and narrow valleys in the Ovacık district. It collects water from other streams such as Havaçor, Şamuşağı, Mamusağı, Kabusağı, Nanikuşağı, Haçılı, Mercan, Merho, Sarıtaş, Laç, Kalan and İksor. It then merges with the Pülümür Stream in the center of Tunceli and flows southward into the Uzunçayır Reservoir and then into Keban Reservoir (URL-1, 2016).

This station selection should represent the microbiological quality of the site. This means that the entire area is represented in exposure to potential contaminants that are homogeneous. Monitoring point: It should be as easily accessible as possible (easy to monitor and find) for the personnel taking the sample. This means that it must be several meters from the Beach (includes waves or swimmers having an effect on the precipitation of suspensions). Must be in water at least 1 meter deep. Samples should be taken from the same spot at regular intervals and at regular times, and should be monitored in a statistically representative manner. According to the regulation, these samples should be taken twice a month, that is, once every 15 days. It can be taken 3 days before or 3 days after this 15 day period. Samples should be taken at a depth of 0.3 m from the water surface. The sample should be taken from a depth of at least 1 m and 30 cm below the water surface to be as representative of swimming conditions as possible. The sample to be taken from the river should be taken from the front of the stream. Sampling requires excellent hygienic conditions to avoid any external contamination. For this reason, hands should be washed before sampling and tools and equipment that will come into contact with water should be cleaned before use. Tools and equipment must be purposeful. Robust and lightweight containers should be used to make tools and equipment easier to transport and keep clean. Except for the bottles, the instrument equipment

does not need to be subjected to a complete sterilization process (hand contact with the bottle mouths should be avoided). It is recommended that the sampling container be opened and closed directly in water whenever possible. In this study, water samples were collected from six stations on Munzur Stream (Dersim 1 st, Esinti 2 st, Kemerbel 3 st, Miskiřah 4 st, Halbori 5 st, Anahita 6 st) and four stations on Pülümür Stream (Marçık 7st, kavacık 8 st, Sinan 9 st, Kutuderesi 10 st) (Figure 1). Tunceli province is the only place in Turkey that has a swimming area in the rivers. In 2019, ninety microbiological samples were collected from 10 sampling points in Munzur and Pülümür Streams from June to September. The data were evaluated according to the “Bathing Water Directive” (Table 1). The quality classification of beach water is shown in Table 2 (Anonymous, 2006; Anonymous, 2008).

Microbiological analyzes were carried out in the laboratory of Erzurum provincial health directorate. For microbiological examination, the samples were brought to the laboratory by cold chain within 24 hours and analyzes were carried out at room temperature. In the examination of the samples; Membrane Filter Method, which is accepted and recommended all over the world, and which is frequently applied in our country, is used. Filtration was carried out using 0.45  $\mu\text{m}$  filters in the Millipore membrane filter assembly. Membrane filters, on which the sample was passed, were placed on the appropriate media used to distinguish each microorganism after the filtration process. Finally, the petri dishes were closed and placed in the oven upside down. After the petri dishes placed in the oven for each microorganism species were incubated at the required temperatures (35-37-41-44.5  $^{\circ}\text{C}$ ), the colonies were counted. The media were obtained from Sigma-Aldrich/Merck KGaA in accordance with microbiological analysis standards. Lauryl tryptose broth-Brilliant green lactose broth, mFC (m-Fecal Coliform) agar, Slanetz-Bartley ready-made media were used to determine the total coliform, Fecal coliform, Fecal streptococcus and Salmonella numbers, respectively. Total coliform, fecal coliform and streptococcus were analyzed in accordance with SM 9221 B, SM 9222 D, SM 9230 C standards (APHA-AWWA-WEF 2005). One way anova was applied in the sample data MINITAB program.

## RESULT

The microbiological analysis of the sampling point on Dersim Beach showed the lowest value for Total coliform (200 cfu100  $\text{ml}^{-1}$ ) in the first week of July. The highest value of 3500 cfu100  $\text{mL}^{-1}$  was observed in the first week of August (Figure 2). In the fecal coliform bacteria analysis, the highest value was observed as 1250 cfu100  $\text{mL}^{-1}$  in the first week of August. The lowest fecal coliform value was found to be 200 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in July first week (Figure 3). In the fecal Streptococcus bacteria analysis of Dersim Beach samples, the highest value was found to be 280 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in the last week of August. The lowest value was observed as 110 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in May (Figure 4).

The microbiological analysis of samples from Esinti Beach showed the lowest value of 100 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  for TC in September last week. The highest value of 2400 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  was measured in the last week of August (Figure 2). The FC analysis depicted the highest value as 400 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in the last week of August. The lowest FC value was found to be 100 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in September last week (Figure 3). As per the analysis of FS bacteria on Esinti Beach samples, the highest value was determined as 240 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in the last week of August. The lowest value was determined as 25 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in September last week (Figure 4).

Analysis of samples from Halbori Beach indicated the lowest TC (10 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$ ) value in the first week of August. The highest TC value (3000 cfu100  $\text{ml}^{-1}$ ) was observed in the first week of July (Figure 2). The FC analysis showed the highest value as 450 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in the first week of July, and the lowest value (100 cfu100  $\text{ml}^{-1}$ ) in September last week (Figure 3). Analysis on FS bacteria Halbori Beach samples showed the highest bacterial value (450 cfu100  $\text{ml}^{-1}$ ) in the first week of July. On the contrary, the lowest value was found to be 10 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in the last week of September (Figure 4).

In the case of samples collected from Kavacık Restaurant Beach, the lowest TC value (200 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$ ) was observed in the first week of August and the highest value (3100 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$ ) was measured in May (Figure 2). According to the FC analysis, the highest value was determined as 390 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in July last week and the lowest value (60 cfu100  $\text{ml}^{-1}$ ) in August last week (Figure 3). The highest FS bacteria value was determined as 450 cfu 100  $\text{ml}^{-1}$  in

the first week of July and the lowest (10 cfu/100 mL) in the last week of September (Figure 4).

With Sinan Beach samples, the lowest TC (150 cfu100 ml<sup>-1</sup>) was measured in July last week, and the highest value (3500 cfu100 ml<sup>-1</sup>) was found in May (Figure 2). The results of FC analysis showed the highest value of 430 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of July. The lowest FC value was found to be 50 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the first week of August (Figure 3). The FS analysis of Kavacık Restaurant Beach samples indicated the highest value of 250 cfu 100 ml<sup>-1</sup> and lowest value of 30 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of July (Figure 4).

Kemerbel Beach samples depicted the lowest TC value of 170 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in September and the highest value of 2600 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in August last week (Figure 2). As per the FC analysis, the highest value was determined as 430 cfu 100 ml<sup>-1</sup> and the lowest value as 90 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of July (Figure 3). The highest FS value was determined as 260 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in July last week; whereas the lowest FS value was found to be 26 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in September last week (Figure 4).

From the analysis of Kutuderesi Beach samples, the lowest TC value was found to be 320 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the first week of September. The highest value of 3200 cfu 100 ml<sup>-1</sup> was measured in May (Figure 2). According to the analysis of FC bacteria, the highest value was observed as 490 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in June and the lowest value of 80 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in July last week (Figure 3). The highest value of FS bacteria (490 cfu100 ml<sup>-1</sup>) was observed in July last week, and the lowest value (19 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in September last week (Figure 4).

Samples from Marcik Beach showed the lowest TC value of 180 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of July. The highest TC value was measured as 3300 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in May (Figure 2). The FS analysis revealed the highest value as 400 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in May and the lowest value as 70 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of July (Figure 3). The FS value was found to be highest in May (230 cfu100 ml<sup>-1</sup>) and lowest (32 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in the first week of August (Figure 4).

For Miskiřah Beach samples, the TC value was lowest in the last week of July (27 cfu/100 ml) and highest (2500 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in the last week of August (Figure 2). The highest FC value was noted as 420 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of August. The lowest FC value was found to be 27 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of July (Figure 3). The FS values were

found to be highest (250 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in August last week and lowest (30 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in July last week (Figure 4).

The samples from Anahita Beach exhibited the lowest TC value of 20 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in June first week and the highest value 3500 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in the last week (Figure 2). The FC value was determined as highest (870 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in the last week of August and lowest (20 cfu100 ml<sup>-1</sup>) in the first week of June (Figure 3). The highest FS value was observed as 480 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in the last week of August, whereas the lowest value was determined as 20 cfu 100 ml<sup>-1</sup> in May (Figure 4).

The analysis was carried out on each microorganism at ten different sampling points. The values were averaged for May, June, July, August, and September (2019) (Table 3).

According to the monitoring results obtained in 2019, ten swimming areas were categorized as Class B (100%). There were no swimming areas classified as A, C, or D in 2019 (Tablo 4).

## DISCUSSIONS

The province of Tunceli is among the provinces where wastes are considered a problem with priority (T.E.I.P.R, 2017). Coliform bacteria are commonly used bacterial markers to measure water pollution. Although this type of bacteria does not directly cause diseases, some types of microorganisms can have negative effects on human health.

In underdeveloped countries, high levels of pathogens are found in freshwater basins due to sewage discharge and livestock enterprises (Çelebi, 2018).

Proper management, protection, and correct use of freshwater are important for life on earth. In this context, various organizations worldwide need to follow some legal regulations to protect water. With the Water Framework Directive (WFD), the European Union aims to adopt a sustainable water policy to bring water resources to a good ecological condition and have a better understanding of water use. The main purpose of this directive is to protect the basin-based surface and groundwater to have a good ecological status by 2015 (Gabriele et al., 2016). According to WFD, the ecological status can be attained by examining the structure of the aquatic ecosystem, analyzing the function of surface waters based on their classification, and determining their quality (Fleisher et al., 1998).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.996531

In the present study, the highest number of coliform groups was recorded in August-September. Temperature limits affect the development and distribution of microorganisms in water (Sponza, 2009; Güven and Zorba, 2013). The coliforms, a mesophilic (20–45 °C) microorganism, were found numerically high in the measurements performed in July. This can be attributed to the fact that warming of the surface waters takes place in the summer months. In addition, the feces of animals grazing around the canal get mixed in the water, leading to a high coliform number in these months.

Since streams reflect the condition and quality of the surrounding habitat, stream evaluation programs should determine the relationships between water quality and quantity, groundwater and surface water, and the aquatic organisms that depend on them. Considering these complex interactions, the biological assessment is the direct and most effective method in determining the status of the streams.

## CONCLUSIONS

In the present study, the bacteriological analysis of samples collected from the Tunceli swimming areas was evaluated in 2019. The data used for the study were obtained by using the "Bathing Water Monitoring System", published regularly on the website of the Ministry of Health. In this study, samples belonging to ten sampling points on the coast of Pülümür and Ovacık districts of Tunceli province were collected for the microbiological analysis. The selected stations are in serious danger due to the uncontrolled mixing of domestic and animal wastes into the water. The most important tourism time in our country is considered to be summer. During the tourism period in the region, an increase in bacteria has been observed in parallel with the population density. Necessary measures should be taken to prevent risk to public health in the future.

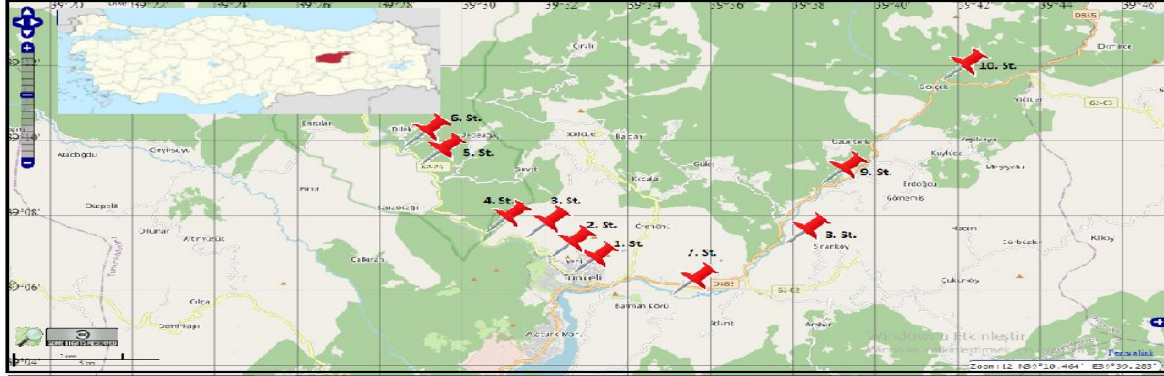


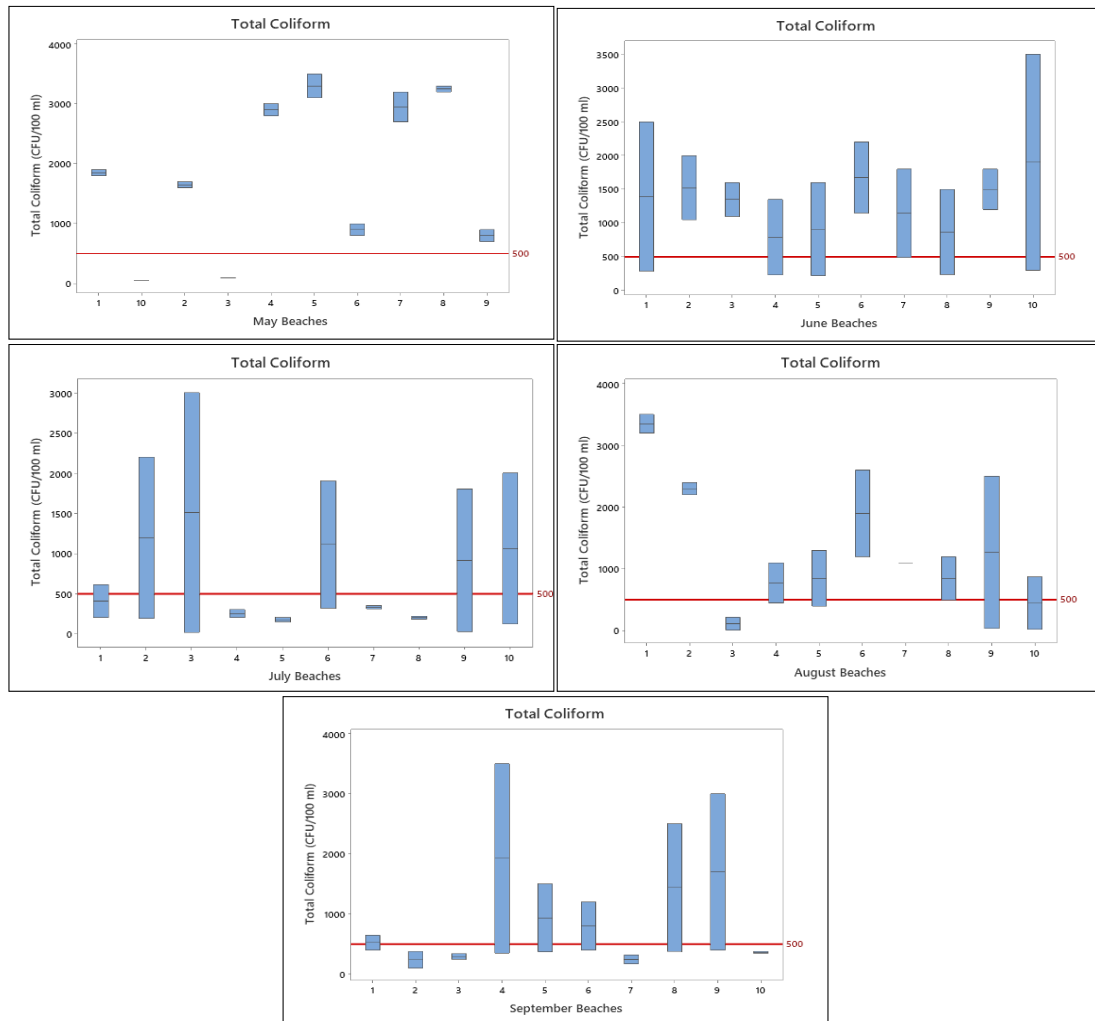
Figure 1. Study area

**Table 1.** Criteria for fecal indicator bacteria according to the Bathing Water Quality Regulation

Parameters	Guide Values (kob/100 ml)	Mandatory values (kob/100)
Total Coliform (TC)	500 (2015 year)	10000
Fecal Coliform (FC)	100 (2015 year)	2000
Fecal Streptokok (FS)	100	1000

**Table 2.** Bathing water quality classification

CI	Quality	
A	Excellent	At least 80% of the results for TC and FC are below the guideline value
B	Good	At least 95% of results below the mandatory value for TK, FK, and FS
C	Bad	5% to 33% of results are above the required value
D	Forbidden	More than 33% of results are above the required value



**Figure 2** Monthly distribution of total coliform bacteria levels at sampling points in 2019



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.996531

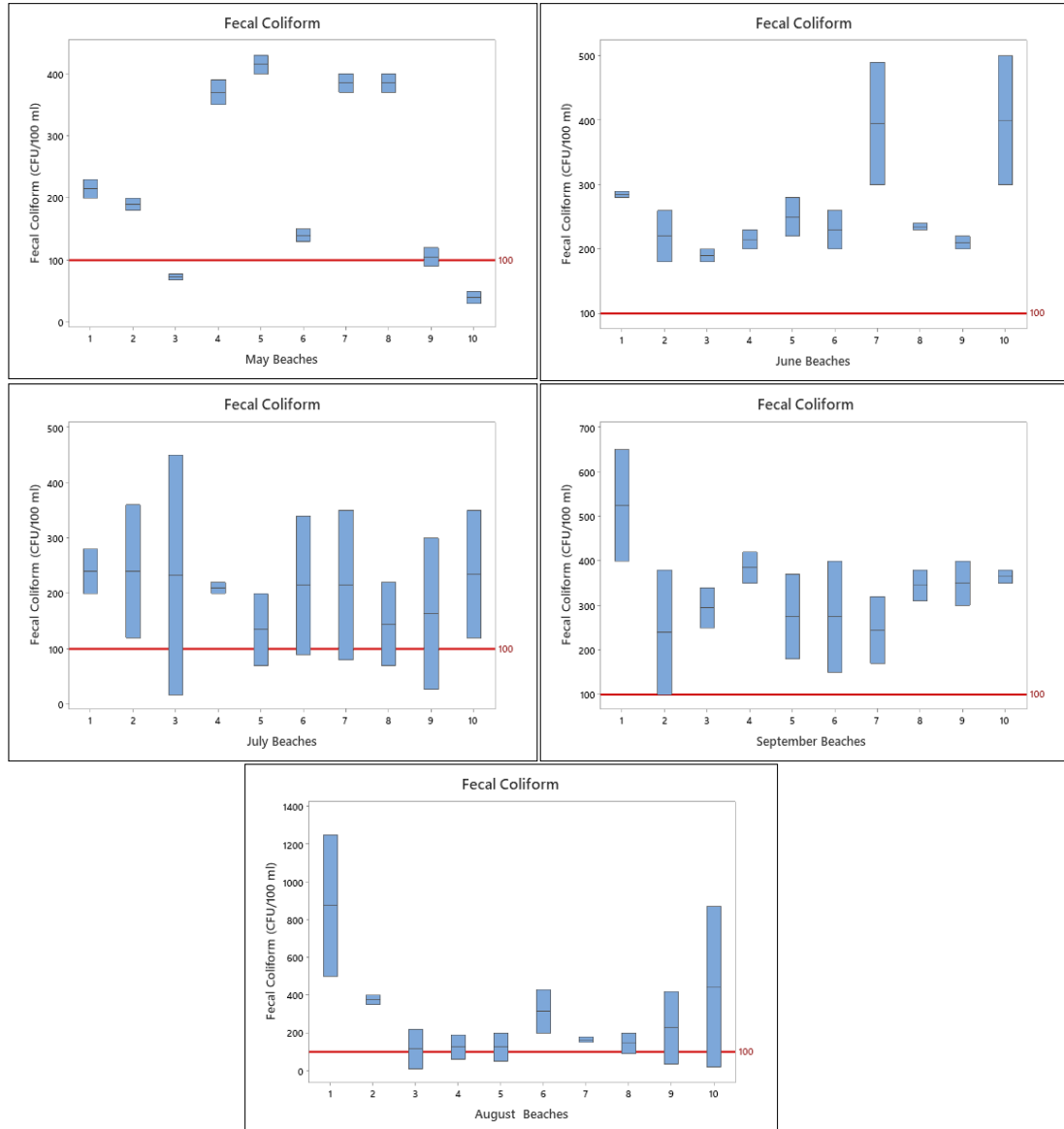


Figure 3 Monthly distribution of fecal coliform bacteria levels at sampling points in 2019

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.996531

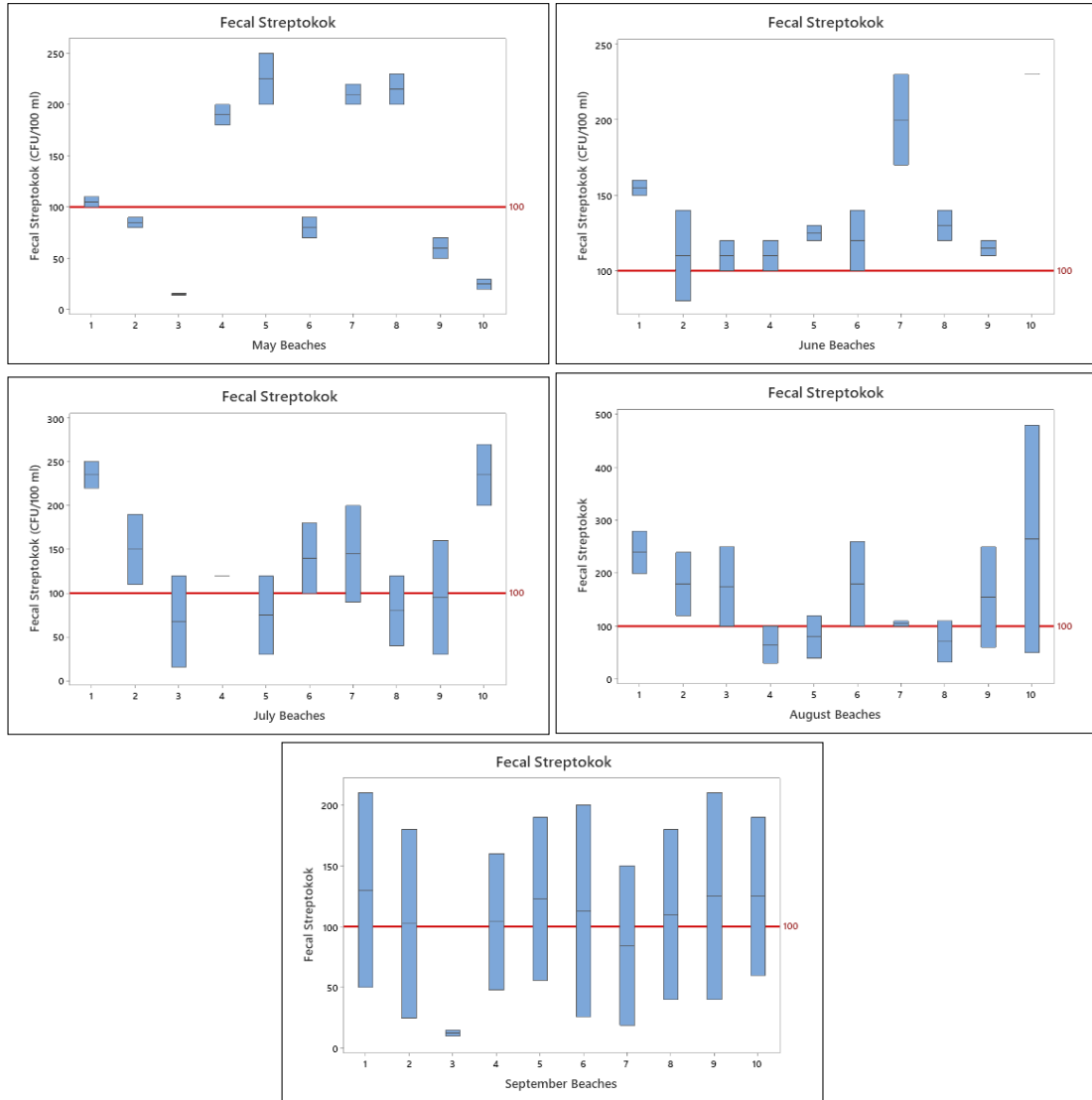


Figure 4 Monthly distribution of fecal streptococcal bacteria levels at sampling points in 2019

**Table 3.** Monthly distribution of bacteriological analysis of beach water at Tunceli in 2019

Months	Total Coliform (TC)*	Fecal Coliform (FC)*	Fecal Streptococci (FS)*
May	1895.78.5(50–3500)	244.8 (50–430)	130.6 (16–250)
June	1336.2(220–3500)	273.1(180–500)	140(80–230)
July	746(17–3000)	207.5(17–450)	128.6(15–270)
August	1295.2(10–3500)	291.2(10–1250)	140.6(10–480)
September	847(100–3500)	330(100–650)	114.2(19–210)
Total	1125.5(10–3500)	270.3(10–1250)	131.3(10–480)

**Table 4.** Annual Classification Report of 2019

Year	Monitored	Total	Total			Total		Total		Total		Total	
			TC	FC	FS	n	%	n	%	n	%	n	%
2019	Tunceli	10	90	90	90	0	0	10	100	0	0	0	0

**CONFLICT OF INTEREST**

The Author report no conflict of interest relevant to this article.

**RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT**

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

**REFERENCES**

Akkan, T., Çolaker, F., 2020. Determining bacteriological pollution level in Gelevera creek, Giresun. *Jornal of anatolian environmenatl and animal sciences*,5(4):691-695.

Ammar, R., Kazpard V., Wazne, M., El Samrani, A.G., Amacha, N., Saad, Z., Chou L., 2015. Reservoir sediments: a sink or source of chemicals at the surface water-groundwater interface. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 579–582.

Anonymous, 2006. Official Gazette, Swimming Water Quality Regulation. (76/160/EU), 2006.

Anonymous, 2006. Swimming Water Tracking System. Access address: <http://yuzme.saglik.gov.tr/>.(Accessed date: on 25.04.2018).

Anonymous, 2008. Strengthening the Ministry of Health in Harmonization and Implementation of the Legislation in the Field of Water for the Protection of Public Health project.TR04-IBEN-04, Ankara, 2008.

APHA-AWWA-WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition. American Public Health Association American

Water Works Association, Water Environment Federation, Washington DC, USA.

Baran, A., Tarnawsk, M., Koniarz, M., 2016. Spatial distribution of trace elements and ecotoxicity of bottom sediments in Rybnik reservoir, Silesian-Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 23:17255–17268.

Binzer, A., Guill, C., Rall, B., Brose, U.,2016. Interactive efefcts of warming, eutrophication and size structure:impacts on biodiversity and food-web structure. *Global Change Biology*,22,220-227.

Boehm, A.B., Ashbolt, N.J., Colford, J.M., Dunbar, L.E., Fleming, L.E., Gold, M.A., 2009. A sea change ahead for recreational water quality criteria. *J Water Health*, 2009;7 (1): 9–20.

Bonilla, T.D., Nowosielski, K., Cuvelier, M., Hartz, A., Green, M., Esiobu, N., 2007. Prevalence and distribution of fecal indicator organisms in South Florida beach sand and preliminary assessment of health effects associated with beach sand exposure. *Mar Pollut Bull*, 54:1472–82.

Çelebi,H., 2018.Exploring specific types microorganisms living in the water Karasu channel. *J. Eng Sci Des*, 6(2),182-189.

European Environmental Agency, 2020. European bathing water quality in 2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-bathing-water-quality-in-2019>.

Fleisher, J.M., Kay, D., Wyer, M.D., Godfree, A.F.,1998. Estimates of the severity of illnesses associated with bathing in marine recreational waters contaminated with domestic sewage. *Int J Epidemiol*, 1998; 27: 722–6.

Fleisher, J.M., Kay, D., Wyer, M.D., Godfree, A.F.,1998. Estimates of the severity of illnesses associated with

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.996531

- bathing in marine recreational waters contaminated with domestic sewage. *Int J Epidemiol*, 1998; 27: 722–6.
- Hering, D. et al., 2015. Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress—An introduction to the MARS project. *Sci Tot Envir*, 503–504.
- Hering, D., Johnson, R.K., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K., Verdonschot, P.F.M., 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Fresh w. Biol.* 51, 1757–1785.
- Hilton, J., O'Hare, M., Bowes, M.J., Iwan Jones, J., 2006. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers. *Sci. Total Environ.* 365, 66–83
- Mutlu, T., Verep, B., 2018. Water quality of streams flowing into South Eastern Black Sea coasts in terms of physico-chemical properties. *Fresen. Environ. Bull.* 27(5a), 3752-3758.
- URL-1 2016. Tunceli provincial environmental status report. Tunceli Governorship Provincial Directorate of Environment and Urbanization. 1-101.1 June 2016.
- Soller, J.A., Schoen, M.E., Varghese, A., Ichida, A.M., Boehm, A.B., Eftim, S., Ashbolt, N.J., 2014. Human health risk implications of multiple sources of faecal indicator bacteria in a recreational water body. *Water Res*, 66: 254–64.
- Solo-Gabriele, H.M., Harwood, V.J., Kay, D., Fujioka, R.S., Sadowsky, M.J., Whitman, R.L., 2016. Beach sand and the potential for infectious disease transmission: observations and recommendations. *J Mar Biol Assoc*, 96, 101–20.
- Verep, B., Ölmez, T.B., Mutlu, T., 2019. Investigation of physico-chemical water quality of Salarha basin streams, *J Ana Environ Anim Sci*, 188-200.
- Wade, T.J., Calderon, R.I., Sams, E., Beach, M., Brenner, K.P., Williams, A.H., 2006. Rapidly measured indicators of recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness. *Environ Health Perspect*, 114:24–8.
- Whitmann, R.I., Harwood, V.J., Thomas, A.E., Nevers, M.B., Byappanahalli, M., Vijayavel, K., 2014. Microbes in beach sands: integrating environment, ecology and public health. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 13: 329–68.
- Wiedenmann, A., Krüger, P., Dietz K, López-Pla, J.M., Szewzyk, R., Botzenhart, K. A., 2006. Randomized controlled trial assessing infectious disease risks from bathing in fresh recreational waters in relation to the concentration of *Escherichia coli*, intestinal enterococci, *Clostridium perfringens*, and somatic coliphages. *Environ Health Perspect*, 114: 228–36.
- World Health Organisation., 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. Geneva World Health Organisation Geneva, 2003.
- Wu, N., Huang, J., Schmalz, B., Fohrer, N., 2014. Modeling daily chlorophyll dynamics in a German lowland river using artificial neural networks and multiple linear regression approaches. *Limnology* 15 (1), 47–56.
- Yaşar, B.A., 2019. Evaluation of total and fecal coliform measurements in İstanbul public beaches, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering.

## Modelling and Optimization of Indigo Carmine Adsorption onto P(NIPAM-co-AN)/Clay Composite Using Response Surface Methodology

Güzin Pıhtılı<sup>1\*</sup>, Mehtap Tanyol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur University, Pertek Sakine Genc Vocational School, Medical Services and Techniques, Tunceli, Turkey

<sup>2</sup>Munzur University, Department of Political Science and Public Administration, Department of Urbanization and Environmental Issues, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Munzur University, Tunceli, Turkey

\*gpihtili@munzur.edu.tr , mtanyol@munzur.edu.tr 

Received date: 11.10.2021, Accepted date: 23.03.2022

### Abstract

In the present work, a new polymeric adsorbent Poly(NIPAM-co-AN)/clay composite was prepared via in-situ polymerization. The copolymerization of N-isopropylacrylamide, acrylonitrile and calculated clay (about 5% w/w) were carried out at 65°C in the presence of 10 mL 1,4-dioxane using AIBN (azobisisobutyronitrile) as an initiator. Characterization of P(NIPAM-co-AN)/clay composite was determined by FT-IR techniques. NIPAM-AN/clay composite has been used as a novel adsorbent to remove indigo carmine dye from synthetic effluents. Three important process parameters i.e., initial IC (indigo carmine) concentration (5-30 mg/L), adsorbent dosage (10-80 mg) and contact time (10-180 min) were modeled and optimized to get the best response of indigo carmine removal using a Central Composite Design assembled with Response Surface Methodology. The amount of indigo carmine in the solution was measured using a UV-visible spectrophotometer at a wavelength of 650 nm. Based on the ANOVA (analysis of variance) statistical value, the adsorption of indigo carmine onto P(NIPAM-co-AN)/clay composite is highly significant, with very low probability value ( $p < 0.001$ ). Twenty test runs were performed and the optimal conditions for indigo carmine adsorption were observed at initial indigo carmine concentration of 17.68 mg/L, the adsorbent dosage of 60 mg and reaction time 115.47 min. The maximum indigo carmine adsorption efficiency under optimal conditions was 76.21%. It was concluded that NIPAM-AN/clay composite has the potential for removal of IC from aqueous solutions.

**Keywords:** Adsorption, polymeric adsorbent, response surface methodology

## Cevap Yüzey Metodolojisi Kullanılarak P(NIPAM-co-AN)/Kil Kompozit Üzerine İndigo Karmin Adsorpsiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada yeni bir polimerik adsorban olan Poli(NIPAM-co-AN)/kil kompoziti yerinde polimerizasyon ile hazırlanmıştır. N-izopropilakrilamid, akrilonitril ve uygun miktarda alınan kilin (yaklaşık %5 w/w) kopolimerizasyonu, 10 mL 1,4-dioksan varlığında 65°C'de, AIBN (azobisisobütironitril) başlatıcısı varlığında gerçekleştirildi. NIPAM-AN/kil kompoziti IC (indigo karmin) boyasını sentetik atık sulardan uzaklaştırmak için yeni bir adsorban olarak kullanılmıştır. Üç önemli proses parametresi olan başlangıç indigo karmin konsantrasyonu (5-30 mg/L), adsorban dozu (10-80 mg) ve temas süresi (10-180 dakika) yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) ile birleştirilmiş. Merkezi Kompozit Tasarım (CCD) kullanılarak modelleme yapıldı ve en iyi indigo karmin giderme yanıtını elde etmek için optimize edildi. Çözeltideki indigo karmin miktarı, 650 nm dalga boyunda bir UV-görünür spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. ANOVA (varyans analizi) istatistiksel değerine dayalı olarak, indigo karminin P(NIPAM-co-AN)/kil kompoziti üzerine adsorpsiyonu, çok düşük olasılık değeriyle ( $p < 0.001$ ) oldukça önemlidir. Yirmi test yapıldı ve indigo karmin İK adsorpsiyonu için optimal koşullar, 17.68 mg/L'lik ilk indigo karmin konsantrasyonunda, 60 mg'lık adsorban dozajında ve 115.47 dakikalık reaksiyon süresinde gözlemlendi. Optimum koşullar altında maksimum indigo karmin adsorpsiyon verimi %76.21' dir. NIPAM-AN/kil kompozitinin indigo karminin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, polimerik adsorban, cevap yüzey yöntemi

## INTRODUCTION

In recent years, population growth with increasing needs has led to many industrial developments, which has led to an increase in pollution. Discharge of dye-containing wastewater from different industries into aquatic environments causes serious environmental problems due to the color it contains, reducing sunlight penetration and being toxic to aquatic organisms. The existence of color in wastewater at very fallen concentrations. This is visible and unwanted. Many dyes can cause serious health problems in people, for example allergies, mutations and cancer. Therefore, dye removal from wastewater is essential both environmental and human health (Tanyol, 2017; Zhang et al., 2008). Another name for indigo carmine (IC) is the disodium salt of 5,50-indigo disulfonic acid. This matter is a deep blue polyester dye used to dye fibers, jeans and food industries (Vidya et al., 2017). The removal of dyes from industrial wastewaters is of great importance in recent years due to their toxicity (Vesna et al., 2013). Some dyes are highly toxic in nature, It has been reported that they are insoluble and mutagenic, directly or indirectly affecting human, animal and environmental health. Therefore, the treatment of dye-containing wastewater is an important issue and many methods have been reported in the literature (Boudechiche et al., 2019). Among these methods, adsorption is widely used because of its easy operation, cost-effectiveness and high efficiency. When a solid comes into contact with a liquid (or gas), some liquid is retained by the solid, and if it takes place on the surface of the solid, it is called adsorption. The solid on which the liquid is held is called the adsorbent, and the substance on the surface of the solid is called the adsorbed substance (Yörükoğulları, 1997). Adsorption is a complex process and many parameters affect the adsorption time. These effective parameters are generally the properties of the adsorbent, the adsorbed material, and the adsorption medium (Kayman, 2009). Adsorbents to be used in treatment should have a suitable pore formation and surface chemical combination, a powerful adsorption capacity for adsorbate, big recyclability and reusability for economic, good mechanical events and easy of use and handling (Lozano-Morales et al., 2018). It was aimed to remove IC from aqueous solutions by adsorption using the response surface

method (RSM). This is one of the most common statistical and mathematical technical programs used for the optimization of multiple variables. RSM helps to determine the individual and interaction effects of independent variables and process parameters can be optimized with a limited number of experiments (Mirzabe and Keshtkar, 2015). RSM is a method based on statistical technique based on the design of experiments and interpreting the effect of more than one factor at the same time (Ece et al., 2020).

There are many studies on the removal of indigo carmine. In the literature, the use of adsorbents such as activated carbon, fly ash, chitin, chitosan, metal oxides, agricultural waste, polymers, zeolite, alumina, calcium oxide has been previously reported in the removal of IC by the adsorption process. (Ramesh et al., 2017). Mittal et al., (2006); In their study, they developed an inexpensive adsorption method for the removal of indigo carmine, a very toxic indigoid dye class, from wastewater. Bottom ash, which is a power plant waste, and degreased soybean, which is an agricultural waste, were used as waste materials as adsorbent. Cestari et al., (2008); In their study, they used a 2-factorial design to evaluate the quantitative removal of indigo carmine dye from aqueous solutions on glutaraldehyde cross-linked chitosan. Harrache et al., (2019); In their study, they investigated the equilibrium and kinetic parameters of indigo carmine removal from aqueous solutions using activated carbon. In other study, poly(DMAEMA-co-AN) synthesized in the laboratory can be used as an effective adsorbent for the removal of IC from aqueous solutions.

In this present work, a new polymer [P(NIPAM-co-AN)] was synthesized from acrylonitrile (AN) and N-isopropylacrylamide by in situ method FRP. Adsorption study of indigo carmine by polymer was made by Response Surface Methodology using a Central Composite Design.

## MATERIAL AND METHODS

### Materials

N-isopropylacrylamide, acrylonitrile, indigo carmine, 1-4 dioxane and clay were gotten Sigma-Aldrich. As dyestuff, indigo carmine, a blue water-soluble dye with a molecular formula  $C_{16}H_8O_8N_2S_2Na_2$  and a molecular weight of 466.36 g/

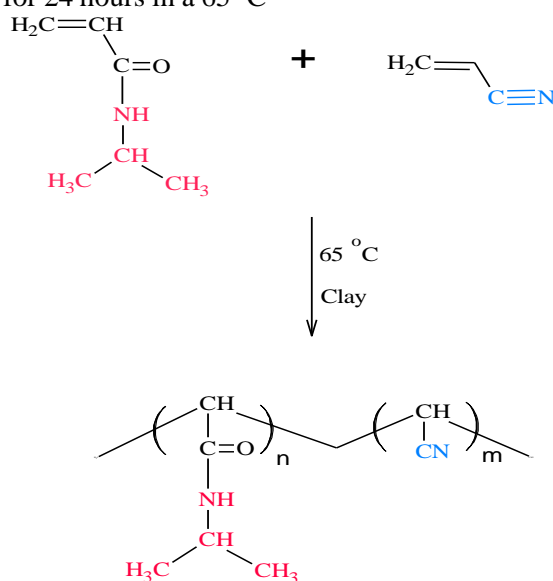
Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1007938

mol was used. 2,2'-azobisisobutyronitrile (AIBN) is initiator for free radical polymerization.

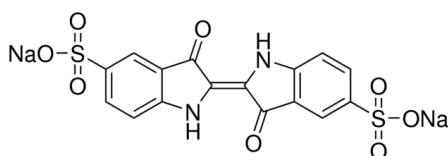
### Preparation of bentonite-filled adsorbent via in-situ method

Poly(NIPAM-co-AN)/clay composite polymer was produced by using in-situ FRP (Free radical polymerization). 1 g N-isopropylacrylamide and 1g acrylonitrile monomers were solved within 1,4-dioxane within a polymerization tube. About 0.02 g AIBN and 15% by mass of clay were added to the mixture and degassed inside Ar gas for 10 min. Polymerization was continued for 24 hours in a 65 °C

adjusted oil bath. The copolymer was precipitated within excess diethyl ether. The product was dried under vacuum at 45 °C for 24h. The prepared of the polymer was illustrated in Scheme 1.



**Scheme 1.** Synthesis of P(NIPAM-co-AN)



**Scheme 2.** Formation of indigo carmine

### Adsorption Experiments

Poly(NIPAM-co-AN)/clay composite was used as polymeric adsorbent for experiment. The concentrations of the dye in aqueous solutions were varied from 25 to 100 mg/L by diluting the indigo carmine stock solution (500 mg/L) with distilled

water. Batch adsorption studies were carried out in orbital shaker (stirring speed of 400 rpm) using 250 mL erlenmeyer flasks with a volume of 100 mL. In all adsorption works in the batch system, the P(NIPAM-co-AN)/clay composite was taken as  $t = 0$  before adding to the solution. 5 mg adsorbent

(polymer) was added to the flasks. The flasks were then shaken in an orbital incubator at 200 rpm at 30 °C for different contact times. During adsorption, samples were taken into glass tubes at pre-determined time intervals (between 10 to 180 minutes) After adsorption, samples were centrifuged at 4500 rpm for 10 min. The amount of indigo carmine remaining in the solution was determined by UV-Vis spectrophotometer. Measurements were taken at a wavelength of 650 nm. Dye removal yield was calculated using Equation (1):

$$R\% = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Where  $C_i$  and  $C_e$  are the indigo carmine concentrations (mg/L) before and after adsorption, respectively.

### Experimental design with CCD

**Table 1.** Factors, levels and date of CCD

Variables	Code	Level of factors				
		- $\alpha$	-1	0	1	+ $\alpha$
Initial IC concentration (mg/L)	A	5	10.07	17.50	24.93	30
Adsorbent dosage (mg)	B	10	24	45	66	80
Reaction time (min.)	C	10	44.46	95.00	145.54	180

## RESULTS AND DISCUSSION

### Characterization by FT-IR

Figure 1(a) and (b) show the FT-IR spectrum of P(NIPAM-co-AN)/clay before/after adsorption process. When the two spectrums were compared, there weren't any modification in the bands of the composite later the adsorption event. We can be clarified this result by van der Waals interaction between the dye and the polymer molecules and we can say that adsorption event occurred on the surface of the adsorbent. The band at 3452 and 3300  $\text{cm}^{-1}$  are assigned to the stretch for the hydrogen-bonded N-H group, the strong peak at 1650  $\text{cm}^{-1}$  assigned to (C=O) a stretching vibration and at 1540  $\text{cm}^{-1}$  corresponds to N-H vibration of the amide group (-CONH) in NIPA and 2239  $\text{cm}^{-1}$  attributed to the nitrile groups (-C≡N) on AN units.

### ANOVA Analysis

Process parameters affecting the removal of indigo carmine were analyzed using the central composite design created using Design Expert Software (7.0 trial version). The color removal percentage was taken as the answer (dependent variable) obtained from the design experiments.

Three independent variables including initial dye concentration (5-30 mg / L), adsorbent dosage (10-80 mg) and contact time (10-180 min.) were used in the Central Composite Design (CCD). The central composite design was carried out with a series of 20 experiments with five levels (- $\alpha$ , -1, 0, 1, + $\alpha$ ). These factors and their levels are given in Table 1. The data were analyzed by statistical method (ANOVA).

20 experiments were conducted with the CCD experiment design and the working conditions and response of each experiment are given in Table 2. The regression model equality used to make estimates about the response for given steps of each independent variable. A quadratic model equality is obtained. The equation for indigo carmine (%) in terms of coded factors is given as follows:

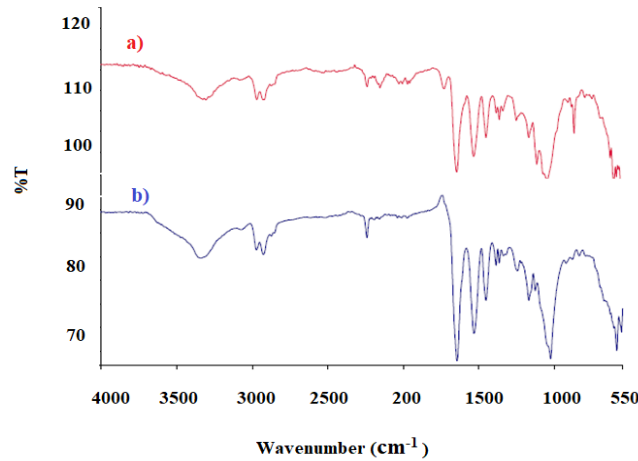
$$\begin{aligned} \text{IC removal, \%} \\ = +68.96 - 0.40A + 13.92B + 6.93C + 9.04AB \\ - 2.95AC + 7.24BC - 8.99A^2 - 10.23B^2 - 15.54C^2 \quad (2) \end{aligned}$$

While positive (+) signs define a synergistic effect, negative (-) signs define an antagonistic impact in Equation 2 (Kumar et al., 2009). Here; IC indicates that the initial concentration (A) has a negative effect, the adsorbent dosage (B) and the reaction time (C) have a positive effect. It shows that the batch adsorption process and IC removal decrease with increasing dye initial concentration and



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1007938

increases when the amount of adsorbent and contact time is increased (Radnia, et al., 2017).



**Figure 1.** FT-IR spectrum of P(NIPAM-co-AN)/clay composite (a) before adsorption experiment (b) after adsorption

**Table 2.** Design matrix for three coded factors together with response

Run	Coded levels			IC Removal, %
	A	B	C	
1	24.93	0.02	145.54	18.45
2	5.00	0.04	95.00	46.55
3	17.50	0.04	95.00	69.23
4	10.07	0.02	145.54	33.33
5	17.50	0.04	95.00	69.23
6	10.07	0.07	145.54	62.31
7	17.50	0.04	95.00	69.23
8	24.93	0.02	44.46	14.98
9	17.50	0.08	95.00	57.87
10	10.07	0.02	44.46	26.08
11	17.50	0.04	10.00	15.75
12	24.93	0.07	44.46	51.19
13	17.50	0.04	180.00	24.90
14	17.50	0.04	95.00	69.23
15	17.50	0.04	95.00	69.23
16	17.50	0.01	95.00	12.82
17	24.93	0.07	145.54	75.59
18	17.50	0.04	95.00	69.23
19	10.07	0.07	44.46	18.11
20	30.00	0.04	95.00	31.20

Analysis of variance (ANOVA) was applied to test the fit of the equation for the model and the results is given for indigo carmine removal in Table 3. In order for the results to be meaningful, the observed significance value for the t-test, which is expressed as "Prob>F" in the model, should be less than 0.05. If this value (Prob>F) is greater than 0.10, the model becomes meaningless for the response variables. Table 3 was indicated, the model fit of the value is more significant. *F*-value (18.15) and *p*-value (<0.0001) (Ece et al., 2021) of the model mean that it is well considerable for IC adsorption onto Poly(NIPAM-co-AN)/clay (Torğut et al., 2017; Chawla et al., 2019; Zyaie et al., 2018). It can be said that the larger the *F*-value of the model and the smaller the *p*-value, the more significant the model applied. The probability of such a large "Model *F* Value" occurring due to noise is only 0.01%. The results show that the data of Prob>F for *B*, *C*, *AB*, *BC*  $A^2$ ,  $B^2$  ve  $C^2$  ( $P < 0.05$ ) are all less than 0.05, which shows that these values are statistically significant. In addition, these results show that the amount of P(NIPAM-co-AN)/clay is much more effective on the IC removal efficiency than the other two independent variables and is an important parameter, especially due to the lower *p*-values. At the same time, we see that besides the linear effect of reaction time (*C*), the second order effect is also significant ( $p < 0.0001$ ). Adeq precision value is used for the model to describe the relationship between quadratic equations and experimental results, and it is required to be greater than four (Arslan-Alaton et al., 2011). Adeq precision value was read as 11.27. It indicates that the model equation for color removal is quite sensitive in estimating experimental results, indicating that there is sufficient signal. Other important data is; the correlation coefficient ( $R^2$ ) is 0,9423.  $R^2$  value close to 1 predicts better correlation between experimental and predicted values and better model response (Tepe and Dursun, 2014). Besides, it shows that only 6% of the total variation cannot be describe by the model. The program was monitored the Adjusted  $R^2$  value as 0.89. This point out that the indigo carmine adsorption of the model is an important ingredient, provided to well agreement between the experimental and predicted extraction yield. According to the results of all these analyzes, the model is trustworthy and can be used to the design space. These results show that the proposed models are in good agreement with the experimental data (Batur et al., 2020).

### Response Surfaces and Contour Plots for Indigo Carmine Adsorption

To research the interaction effects of the two independent factors on the color removal efficiency, 3D (three-dimensional response surface plots were drawn. The response surface plots can be considered as a way to estimate the dye removal efficiency (%) varied values of the data worked. We can see these graphs in Figure 2a-c. Figure 2a shows the response surface plot as a function of beginning dye concentration and adsorbent dosage when time is kept constant at the center step. As shown, the removal efficiency of the dye decreases with rising initial indigo carmine concentration. The decrease in the percentage of dye removal at big IC concentrations may be because of the satiation of the dye adsorption sites of the adsorbent. Rising the adsorbent mass provided more surface field, thus leading to more binding sites for the dye adsorption over P(NIPAM-co-AN)/clay (Dil et al., 2017). In Figure 2b, the amount of polymer was kept constant and the interaction effect on the reaction time and percent removal of the IC initial concentration was investigated. The reaction time increased to a certain point (about 95 min). After reaching equilibrium, it has not changed much. This attitude can be clarified by the fact that at low dye concentration, a great number of vacancies are present for adsorption on the P(NIPAM-co-AN) surface, but with the increase in dye concentration, the number of these sites decreases (Sharma et al., 2017). In Figure 2c, we can see a 3D graph of the amount of adsorbent and the reaction time when the indigo carmine concentration is kept stationary at the central step. Contact time ensures more diffusion between polymer particles and paint. Higher indigo carmine removal values were achieved with happening at the same time increases in adsorbent dose and shaking time. We see that the adsorption capacity of the IC increases with increasing contact time (Kutluay et al., 2020). It is economically important that the adsorbent dosage and agitation time are low (Pavlovic et al., 2014).

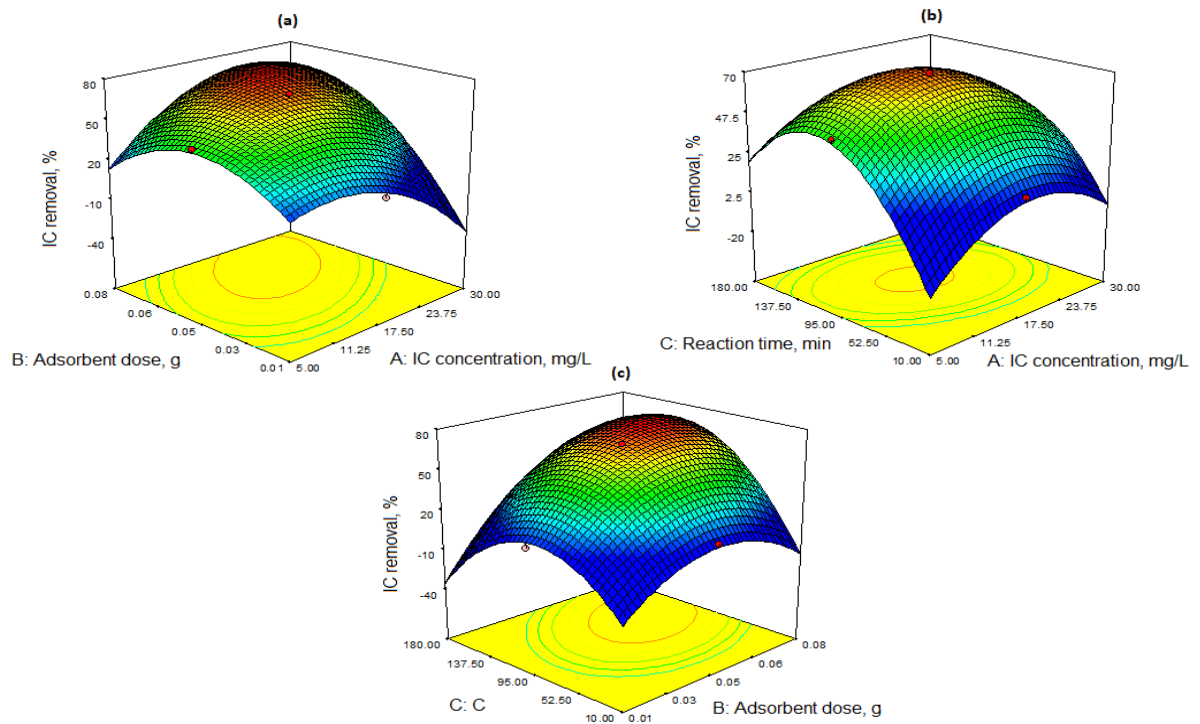
In general, it is important to ensure that the chosen model provides an appropriate approximation to the real system. Figure 3 presents perturbation plots showing the effect of each of the independent variables on the IC. It shows that the initial concentration (*A*), adsorbent dose (*B*) and time (*C*) are highly influenced by the operating parameters of

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1007938

IC adsorption (Tepe and Dursun, 2021; Sadhukhan, et al., 2016).

**Table 3.** ANOVA and model summary statistic.

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	p-value
Model	9679.47	9	1075.50	18.15	< 0.0001 sig.
A-IC concentration	2.16	1	2.16	0.036	0.8523
B-Adsorbent dose	2646.83	1	2646.83	44.66	< 0.0001
C-Reaction time	656.79	1	656.79	11.08	0.0076
AB	654.13	1	654.13	11.04	0.0077
AC	69.50	1	69.50	1.17	0.3043
BC	418.76	1	418.76	7.07	0.0240
A <sup>2</sup>	1163.50	1	1163.50	19.63	0.0013
B <sup>2</sup>	1509.17	1	1509.17	25.46	0.0005
C <sup>2</sup>	3481.87	1	3481.87	58.74	< 0.0001
Residual	592.71	10	59.27		
Cor Total	10272.18	19			
R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Adeq precision	Std. dev.	Mean	
0.9423	0.8904	11.274	7.70	45.23	



**Figure 2.** 3D response surface plots

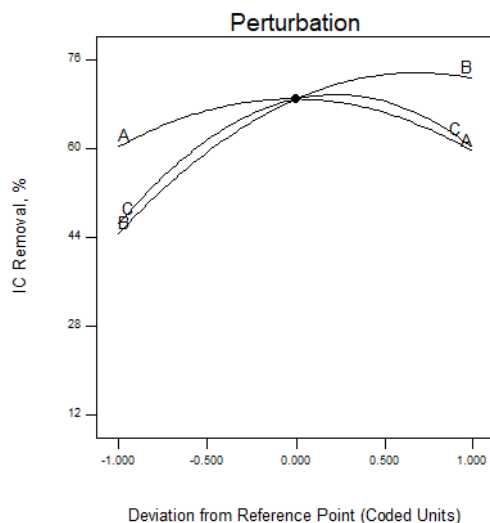


Figure 3. Perturbation plot of IC removal

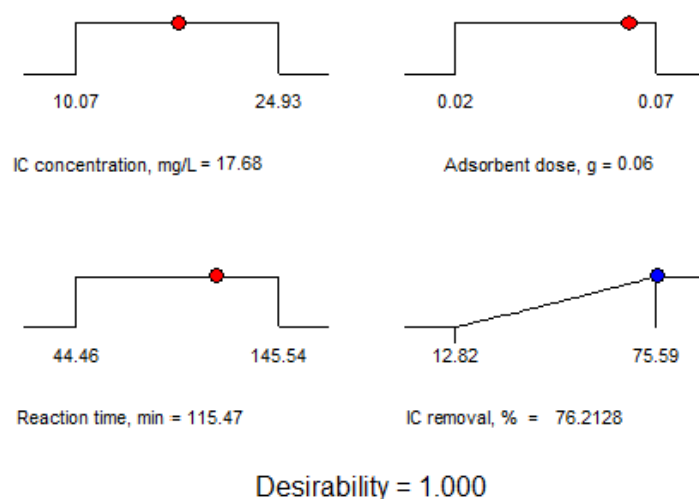


Figure 4. Desirability ramp of IC removal

### Optimisation Using Desirability Function

For color removal using batch adsorption, the optimum experimental conditions giving maximum removal efficiency were determined using the desirability function of Design Expert. (Figure 4). The optimum conditions selected are the initial IC concentration of 17.68 mg/L, the amount of polymer 0.06 g, the reaction time 115.47 minutes. Under these conditions, the removal efficiency is 76.21%.

### CONCLUSION

In the current study, P(NIPAM-co-AC)/clay polymeric adsorbent was synthesized. copolymer was used as an adsorbent for the removal of Indigo

Carmine dye from an aqueous solution. The optimum conditions selected are the initial IC concentration of 17.68 mg/L, the amount of polymer 0.06 g, the reaction time 115.47 minutes. The conclusions of the experiments indicated the polymeric adsorbent could remove 76.21% of indigo carmine under optimum conditions. Water pollution is one of the world's most adverse environmental problems. It is important to find a good adsorbent to remove this pollution from the water. We think that the polymer we synthesized will perform this task. In general, P(NIPAM-co-AC)/clay because of its top efficiency, simple fabrication and ease of isolation can be used as a reasonable adsorbent for the removal

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1007938

of indigo carmine dye from wastewaters. This new adsorbent is very significant due to can be obtained easily and cheaply.

### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest.

### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

### REFERENCES

- Arslan-Alaton, İ., Ölmez-Hancı, T., Karahan, Pala, İ. ve Orhon, D. (2011). Yüzeý aktif maddelerin ileri oksidasyon prosesleri ile arıtımı: Proses optimizasyonu ve toksisite analizi. *İtüdergisi/e*, 21 (1), 69-80.
- Batur E., Baytar O., Kutluay S., Horoz S., Şahin Ö. (2021). A comprehensive new study on the removal of Pb (II) from aqueous solution by sırnak coal-derived char. *Environmental Technology*, 42, (3), 505–520.
- Boudechiche, N., Fares, M., Ouyahia, S., Yazid, H., Trari, M. and Sadaoui, Z. (2019). Comparative study on removal of two basic dyes in aqueous medium by adsorption using activated carbon from Ziziphus lotus Stones. *Microchemical Journal*, 146, 1010-1018.
- Cestari, A.R., Vieira E.F.S., Tavares A.M.G., Bruns R.E. (2008). The removal of the indigo carmine dye from aqueous solutions using cross-linked chitosan— Evaluation of adsorption thermodynamics using a full factorial design. *Journal of Hazardous Materials*, 153: 566–574.
- Chawla P., Sharma, S.K. and Toor, A.P. (2019). Optimization and modeling of UV-TiO<sub>2</sub> mediated photocatalytic degradation of golden yellow dye through response surface methodology. *Chemical Engineering Communications*, 206 (9), 1123-1138.
- Dil, E. A., Ghaedi, M. and Asfaram, A. (2017). The performance of nanorods material as adsorbent for removal of azo dyes and heavy metal ions: application of ultrasound wave, optimization and modeling. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 792–802.
- Ece M. Ş, Kutluay S. Şahin Ö. and Horoz S. (2020). Development of Novel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AC@SiO<sub>2</sub>@1,4-DAAQ Magnetic Nanoparticles with Outstanding VOC Removal Capacity: Characterization, Optimization, Reusability, Kinetics, and Equilibrium Studies. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59 (48), 21106-21123.
- Ece M. Ş, Kutluay S., Şahin Ö. (2021). Silica-coated magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as efficient nano-adsorbents for the improvement of the vapor-phase adsorption of benzene. *International Journal of Chemistry and Technology*, 5 (1), 33-41.
- Harrache, Z., Abbas, M., Aksil, T., Mohamed, M. (2019). Thermodynamic and kinetics studies on adsorption of Indigo Carmine from aqueous solution by activated carbon. *Microchemical Journal*, 144:180–189.
- Kumar, R., Singh, R., Kumar, N., Bishnoi, K. and Bishnoi, N. (2009). Response surface methodology approach for optimization of biosorption process for removal of Cr (VI), Ni (II) and Zn (II) ions by immobilized bacterial biomass sp. *Bacillus brevis*. *Chemical Engineering Journal*, 146, 401-407.
- Kutluay S., Ece M. Ş, Şahin Ö. (2020). Synthesis of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AC nanoparticles and its application for the removal of gas-phase toluene by adsorption process. *International Journal of Chemistry and Technology*, 4 (2), 146-155.
- Lozano-Morales, V., Gardi, I., Nir, S. and Undabeytia, T. (2018). Removal of pharmaceuticals from water by claycationic starch sorbents. *Journal of Cleaner Production*, 190, 703-711.
- Mirzabe, G.H. and Keshtkar, A.R. (2015). Application of response surface methodology for thorium adsorption on PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/APTES nanohybrid adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 277-285.
- Mittal A., Mittal J., Kurup L. (2006). Batch and bulk removal of hazardous dye, indigo carmine from wastewater through adsorption. *Journal of Hazardous Materials*, 137:591– 602.
- Pavlovic, M.D., Buntic, A.V., Mihajlovski, K.R., Siler-Marinkovic S.S., Antonovic, D.G., Radovanovic, Z. and Dimitrijevic-Brankovic, S.I. (2014). Rapid cationic dye adsorption on polyphenol-extracted coffee grounds-A response surface methodology approach. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 1691-1699.
- Radnia, H., Solaimany Nazar, A.R. and Rashidi, A. (2017). Experimental assessment of graphene oxide adsorption onto sandstone reservoir rocks through response surfacemethodology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80, 34-45.
- Ramesh N.T., Kirana D.K., Ashwini A., Manasa, T.R., (2017). Calcium hydroxide as low cost adsorbent for the effective removal of indigo carmine dye in water. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21:165–171.
- Sadhukhan, B., Mondal N. K. and Chatteraj S. (2016). Optimisation using central composite design (CCD) and the desirability function for sorption of methylene blue from aqueous solution onto Lemna major. *Karbala International Journal of Modern Science*, 2, 145-155.
- Sharma, J., Prerna Anand, S., Pruthi, V., Chaddha, A.S., Bhatia, J. and Kaith, B.S. (2017). RSM-CCD optimized adsorbent for the sequestration of

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1007938

carcinogenic rhodamine-B: Kinetics and equilibrium studies. Materials Chemistry and Physics, 196, 270-283.

- Tanyol, M. (2017). Optimization of operational parameters for color removal of malachite green-containing wastewater by Fenton oxidation process. Firat University Journal of Science and Engineering, 29 (1), 183-191.
- Tepe, O. and Dursun Y.A. (2014). Exo-pectinase production by *Bacillus pumilus* using different agricultural wastes and optimizing of medium components using response surface methodology. Environmental Science and Pollution Research, 21, 9911-9920.
- Tepe, O. and Dursun Y.A. (2021). Optimization of endo-pectinase and pectin lyase production from wheat bran by *Bacillus pumilus* using response surface methodology. Gazi University Journal of Science, 34 (2), 335-353.
- Torğut, G., Tanyol, M. and Meşe, Z. (2020). Modeling and optimization of indigo carmine adsorption from aqueous solutions using a novel polymer adsorbent: RSM-CCD. Chemical Engineering Communications, 207, 1157-1170.
- Vesna, V. P., Sanja, I. S., Aleksandra, R. N. and Sava, J. V. (2013). Adsorption of azo dyes on polymer materials. Hemijska Industrija, 67, 881-900.
- Vidya Lekshmi, K. P., Yesodharan, S. and Yesodharan, E. P. (2017). MnO<sub>2</sub> and MnO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> mediated, persulphate enhanced photocatalysis for the removal of indigo carmine from water. European Chemical Bulletin, 6 (5), 177-191.
- Yörükoğulları E. (1997). Physical adsorption applications in natural zeolites. Anadolu University, 58s.
- Zhang, J., Li, Y., Zhang, C. and Jing, Y. (2008). Adsorption of malachite green from aqueous solution onto carbon prepared from *Arundo donax* root. Journal of Hazardous Materials, 150, 774-782.
- Zyaie, J., Sheikhi, M., Baniasadi, J., Sahebi, S. and Mohammadi, T. (2018). Assessment of a thermally modified cellulose acetate forward-osmosis membrane using response surface methodology. Chemical Engineering & Technology, 41 (9), 1706-1715.

## Kahramanmaraş Koşullarında Çörek Otu (*Nigella* sp.) Genotiplerinde Farklı Sıra Arası Mesafelerin Verim ve Kaliteye Etkilerinin Belirlenmesi

Zeliha Aysabar, Osman Gedik\*

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye  
aysabarzeliha@gmail.com<sup>ID</sup>, \*ogedik@ksu.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 13.10.2021, Makale kabul tarihi: 07.03.2022

### Öz

Bu çalışmada, farklı sıra arası mesafelerinin *N. sativa* L., *N. damascena* L., ve tescilli çeşit olan Çameli (*N. sativa*) genotipleri üzerinde tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma 2019-2020 vejetasyon dönemlerinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Araştırma ve Uygulama arazisinde sıra arası mesafeleri 20, 30, 40 ve 50 cm olacak şekilde yürütülmüştür. Deneme, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Farklı sıra aralıklarında ekilerek yetiştirilen çörek otu genotiplerinin de; bitki boyu 30.25-56.90 cm, ilk dal yüksekliği 1.58-15.62 cm, ilk kapsül yüksekliği 11.52-30.70 cm, dal sayısı 5.40-7.10 adet bitki<sup>-1</sup>, kapsül sayısı 8.37-28.37 adet bitki<sup>-1</sup>, kapsüldeki tane sayısı 7.00-26.33 adet kapsül<sup>-1</sup>, bin tane ağırlığı 2.18-2.71 g, tohum verimi 51.39-155.00 kg da<sup>-1</sup>, sabit yağ oranı %28.65-36.40, protein oranı %19.28-22.32, uçucu yağ oranı %0.58-1.12, sabit yağ verimi 20.36-53.35 kg da<sup>-1</sup> ve uçucu yağ verimi 0.34-1.74 L da<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Yürütülen bu çalışmada; genotip olarak Çameli çeşidinden (*N. sativa*) ve sıra arası mesafede ise; istatistiki olarak aynı grupta yer alan 30 (155.00 kg da<sup>-1</sup> tohum verim) cm ve 20 (151.39 kg da<sup>-1</sup> tohum verim) cm sıra arası mesafelerinden en yüksek tohum verimi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çörek otu, Çameli çeşidi, *N. damascena*, *N. sativa*, sıra arası mesafe

## Determination of the Effects of Different Row Distances on Yield and Quality in Black Cumin (*Nigella* sp.) Genotypes in Kahramanmaraş Conditions

### Abstract

This study it was aimed to determine the agricultural and quality characteristics of different row distances on *N. sativa*, *N. damascena* and *N. sativa* (Cameli variety) genotypes under Kahramanmaraş conditions. The experiment was carried out in the research and application area of Kahramanmaraş Sütçü İmam University Faculty of Agriculture, Field Crops Department in the vegetation period of 2019-2020 with 20, 30, 40 and 50 cm inter row distances. The trial was established according to the split plots in randomized blocks as 3 replications. As a result of the study, the genotypes of black seed sown between different rows; plant height 30.25-56.90 cm, first branch height 1.58-15.62 cm, first capsule height 11.52-30.70 cm, the number of branches 5.40-7.10 number plant<sup>-1</sup>, the number of capsules 8.37-28.37 number plant<sup>-1</sup>, the number of seeds in the capsule 7.00-26.33 number capsule<sup>-1</sup>, thousand grain weight 2.18-2.71 g, seed yield 51.39-155.00 kg da<sup>-1</sup>, fixed oil ratio %28.65-36.40, protein ratio %19.28-22.32, essential oil ratio %0.58-1.12, fixed oil Its yield was 20.36-53.35 kg da<sup>-1</sup> essential oil yield was 0.34-1.74 kg da<sup>-1</sup>. In this study; Cameli variety (*N. sativa*) as genotype and spacing between rows; statistically in the same group, the highest seed yield was obtained at row spacings of 30 (155.00 kg da<sup>-1</sup> seed yield) cm and 20 cm (151.39 kg da<sup>-1</sup> seed yield).

**Keywords:** Black cumin, Cameli variety, *N. damascena*, *N. sativa*, row distance

### GİRİŞ

Çörek otu (*Nigella* sp.) Ranunculaceae (düğün çiçeğigiller) familyasına ait olan tek yıllık otsu bir bitki olup, kökeninin Güney Avrupa ve Batı Asya olduğu bilinmektedir (Ceylan, 1997). *Nigella* cinsinin dünyada 24 tür ve 31 taksonu olup, Türkiye

florasında ise 15 tür ve 19 taksonu bulunmaktadır (Başer, 2010). *Nigella sativa* ve *Nigella damascena* kültürü yapılan en önemli iki çörekotu türü olurken *Nigella arvensis* ise süs bitkisi olarak kullanılmaktadır (Baydar, 2016; Ürüşan ve Polat,

2017). *Nigella sativa* Orta Doğu, Batı Avrupa, Doğu ve Orta Asya'da yetişirken; *Nigella damascena* ise Akdeniz'in bazı bölgelerinde yetiştirilmektedir (Ertaş, 2016). Çörek otu bitkisi genellikle 35-70 cm boylanabilen, gövdesi dik ve tüylü bir bitkidir. Yapraklar 3 parçalı olup almaşıklı olarak bir sap üzerinde dizilmiştir. Çiçekleri 5 parçalı ve genellikle açık mavi renktedir. Meyveler 5 odalı bir kapsül şeklinde ve tohumlar bu kapsüller içerisinde yer almaktadır. Çörek otu tohumları siyah renkte olup 2.5-4 mm uzunluktadır (Baydar, 2016). Çörek otu tohumunda, %32-40 sabit yağ, %16-19.9 protein, %33.9 karbonhidrat, %5.5 saponin, alkaloid ve lif, %1.79-3.44 tanen ve mineral bulunmaktadır. Sabit yağında doymamış yağ asitlerinden oleik ve linolenik asit bulunurken, doymuş yağ asitlerinden ise palmitik, stearik ve miristik asit bulunmaktadır. Ayrıca çörek otu tohumlarında %0.4-0.45 oranında uçucu yağ bulunmaktadır (Güllü ve Avcı 2013). Bu yağda thymoquinone, p-simen, nigellonetil linoleat,  $\alpha$ -thujen, timol,  $\alpha$ -pinen, karvakrol, trans-anethol,  $\beta$ -pinen gibi biyoaktif maddeler bulunmaktadır. Thymoquinone çörek otu uçucu yağının %25-60'ını oluşturan en önemli ve en aktif fitokimyasallardan birisidir (Baydar, 2013; Bulca, 2014). Çörek otu, önemli bir ilaç ve baharat bitkisi olup, halk arasında yaygın bir tüketime sahiptir. Geleneksel olarak tohumları pastalarda, böreklerde ve hamurlu ürünlerde kullanılmaktadır (Keser ve Gedik, 2021). Son zamanlarda insanların doğal ürünlere ilgisinin artması çörek otunun da tüketimini ve kullanımını artırmıştır. Saraç (2019)'a göre Tekirdağ ekolojik koşullarında yetiştirilecek çörek otu (*Nigella sativa* L.)'nun tohum ve sabit yağı açısından en yüksek verim değerleri 40 cm sıra arası mesafede ve 1200 g/da tohumluk miktarı ekiminden elde edilmiştir. Ancak, 2017 yılı bitki gelişme döneminde yağışlar uzun yıllar ortalamasından düşük bulunmuş, yağışların uzun yıllar ortalaması düzeyinde olmasının da verimi yükselteceği bildirmiştir. Özel ve ark., (2009) Harran ovası koşullarında yetiştirdikleri çörek otunun en yüksek tohum verimini 15 cm sıra arası mesafe uygulamasından elde edilmiş ve birim alanda artan bitki sayısının bir dereceye kadar verimi artırdığını ve daha yüksek sıklıklarda verimi düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Küçükemre (2009)'ye göre en yüksek tohum verimi ortalaması 30 cm sıra arası uygulamasından alınmıştır. Ancak daha dar sıra aralığı olan 20 cm'de bitkiler daha cılız olmuş ve yatmaya karşı dayanıklılığı azalmıştır. Çalışmada dallanmanın azalmasına bağlı olarak bitki başına kapsül sayısının düştüğü bildirilmiştir. Ülkemizde ve dünya pazarında önemli bir yeri olan çörek otu ile Kahramanmaraş şartlarında yürütülen bu çalışmada, materyal olarak kullanılan bir tescilli çeşit (*Nigella sativa*/Çameli) ve iki genotipte (*Nigella sativa*, *Nigella damascena*) farklı sıra arası mesafelerinin verim ve verim unsurları üzerine etkisi incelenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'ne ait Araştırma ve Uygulama arazisinde 2019-2020 kışlık yetiştirme döneminde yürütülmüştür. Denemede 2 çörek otu genotipi (*N. sativa*, *N. damascena*) ve 1 çörek otu tescilli çeşidi (*N. Sativa*/Çameli) 4 farklı sıra arası mesafesinde (20, 30, 40, 50 cm) sıra üzeri 10 cm olacak şekilde ekilmiştir. Çalışma ana parsellerde genotipler, alt parsellerde ise sıra arası mesafeler olacak şekilde bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada parsel boyu 3 m, parsel eni sıra arası mesafeye göre değişiklik göstermekle birlikte parsel arası mesafe 0.5 m olarak ayarlanmıştır. Blokların arası mesafe 2 m olmak üzere her parselde 5 sıralı olarak 15 Kasım 2019 tarihinde ekim yapılmıştır. Bitkilerin yetiştirme süresi boyunca yabancı ot temizliği ve çapalama işlemleri gerek görüldükçe yapılmıştır. Sulama işlemi damla sulama yöntemiyle 4 kez yapılmıştır.

Kasım-Haziran ayları arasındaki 2019-2020 yılı kışlık yetiştirme döneminde aylık yağış ve sıcaklık değerleri; uzun yıllar ortalaması ile karşılaştırıldığında uzun yıllar ortalamasının üzerinde, aylık nispi nemin ise uzun yıllar ortalamasının altında seyrettiği görülmüştür (Tablo 1).



**Tablo 1.** Kahramanmaraş ili Kasım-Haziran ayları arasındaki 2019-2020 yılı ve 1980-2018 arası uzun yıllara (U.Y.) ait yağış-sıcaklık-nem değerleri (Anonim, 2020)

Aylar	Aylık Toplam Yağış (mm)		Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)		Aylık Ortalama Nispi Nem (%)	
	2019-2020	Uzun Yıllar (1980-2018)	2019-2020	Uzun Yıllar (1980-2018)	2019-2020	Uzun Yıllar (1980-2018)
<b>Kasım</b>	39.1	87.5	13.5	11.5	56.2	66.68
Aralık	198.5	116.6	8.4	6.8	81.9	79.85
Ocak	88.0	125.4	6.3	4.9	69.3	69.99
Şubat	72.7	108.3	6.1	6.4	68.3	65.62
Mart	173.4	93.4	12.5	10.6	67.3	60.00
Nisan	61.8	69.8	15.9	15.5	58.2	57.59
Mayıs	18.5	41.2	15.9	21.6	47.2	54.95
Haziran	0.3	8.4	25.4	21.7	46.9	49.67
Top./Ort.	652.3	650.8	13.25	12.6	61.91	63.04

Deneme alanının toprak yapısı, killi tınlı bir yapıya sahip, kireç oranı orta kireçli, toplam fosfor ( $P_2O_5$ ) oranı çok az seviyede, toplam potasyum ( $K_2O$ ) oranı yeterlilik seviyesinden yüksektir (Tablo 2). Deneme alanı ekim döneminde gübreleme (N, P) yapılarak çörek otu

yetiştirmeye uygun hale getirilmiştir. Deneme alanına saf olarak dekara  $6 \text{ kg da}^{-1}$  azot (N) ve  $6 \text{ kg da}^{-1}$  fosfor (P) düşecek şekilde gübreleme yapılmıştır. Ekim ile beraber toprağa azot'un yarısı ( $3 \text{ kg da}^{-1}$ ) verilmiş ve geri kalan  $3 \text{ kg da}^{-1}$  ise baharda sapa kalkma döneminde verilmiştir. Fosforun tamamı ekim sırasında verilmiştir.

**Tablo 2.** Deneme alanı toprağının kimyasal ve fiziksel özellikleri (\*)

Analiz	Değerler	Özellikler
Torak derinliği (cm)	0-30	
Suya Doygunluk (%)	69.96	Killi tınlı
pH	7.71	Hafif Alkali
Organik Madde (%)	1.58	Düşük
Kireç ( $CaCO_3$ ) (%)	6.09	Orta kireçli
Tuzluluk (%)	0.05	Tuzsuz
Fosfor $P_2O_5$ ( $\text{kg da}^{-1}$ )	2.84	Çok az
Potasyum $K_2O$ ( $\text{kg da}^{-1}$ )	55.51	Yüksek

(\*)Toprak Analizleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM (Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi) Toprak Analiz Laboratuvarında yapılmıştır.

Bitkisel, verim ve kaliteyle ilgili karakterlere ait gözlemlerden elde edilen sonuçlar bölünmüş parseller deneme desenine göre varyans analizi SAS 9.8 paket programı kullanılarak yapılmıştır (Anonim 2013). Önemli bulunan farklılıkların gruplandırılması JMP 10 İstatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir (JMP, 2010)

## TARTIŞMA VE SONUÇ

15 Kasım 2019 tarihinde ekilen çörek otu genotiplerinde 27-29 gün sonra çıkışlar görülmüştür. Çiçeklenme süreleri 160-170 gün olarak gözlemlenmiş ve olgunlaşma süreci 210-220 gün arasında gerçekleşmiştir. Hasat 01.07.2020 tarihinde yapılmıştır. Kullanılan çörek

otu genotiplerine ait bitkisel, verim ve kalite özellikleri aşağıda verilmiştir.

### Bitki Boyu (cm)

Bitki boyu bakımından genotipler %1, sıra arası ve genotip x sıra arası interaksyonun ise %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kullanılan genotiplerde ortalama bitki boyu 32.16-54.73 cm aralığındadır. En düşük bitki boyu ortalaması ( $44.15 \text{ cm}$ ) 20 cm sıra aralığında, en yüksek bitki boyu ortalaması ise istatistiki olarak aynı grupta yer alan 30 cm ( $47.24 \text{ cm}$ ) ve 50 cm ( $46.33 \text{ cm}$ ) sıra aralığında belirlenmiştir. Genotipler bakımından en düşük bitki boyu *N. damascena* genotipinde, en yüksek bitki boyu 40 cm sıra

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1009064

aralığında (56.90) Çam eli çeşidinde ve 30 cm sıra aralığında (55.17) *N. sativa* genotipinde elde edilmiştir. (Tablo 3, Şekil 1A) Koşar ve Özel (2018), bitki boyunun 47.77-68.63 cm arasında ve en yüksek Burdur popülasyonunda, Saraç (2018) en uzun bitki boyunu (72.71 cm) 40 cm sıra aralığında, en kısa bitki boyunu (66.79 cm) 20 cm sıra aralığında, Özel ve ark (2009) bitki boyunu 83.17-88.50 cm arasında ve en yüksek 30 cm sıra aralığından elde edildiğini, Kızıl ve Tonçer (2005), bitki boyu ortalama değerleri 55.07- 64.1 cm arasında değiştiği ve en yüksek 20 cm sıra

aralığından elde edildiğini, Mengistu ve ark, (2021)'nın bitki boyu ortalama değerleri 74.14-76.62 cm arasında ve en yüksek 20 cm sıra aralığından elde edildiğini bildirmişlerdir.

### İlk Dal Yüksekliği (cm)

Bitkide ilk dal yüksekliği bakımından genotip ve genotip x sıra arası etkisi %1 düzeyinde, sıra arası mesafeler ise %5 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Kullanılan çörek otu genotiplerinden ortalama ilk dal yüksekliği 2.77-13.99 cm aralığında değişmektedir.

**Tablo 3.** Farklı sıra arası mesafelerde yetiştirilen çörek otu genotiplerine ait; bitki boyu, ilk dal yüksekliği, ilk kapsül yüksekliği, dal sayısı, kapsül sayısı ve kapsülde tane sayısına ait ortalama değerler

		Bitki Boyu (cm)	İlk Dal Yüksekliği (cm)	İlk Kapsül Yüksekliği (cm)	Dal Sayısı (adet)	Kapsül Sayısı (adet)	Kapsülde tane sayısı (adet)
Genotip (G)	<i>N. sativa</i>	51.06 b	13.99 a	28.87 a	6.65 a	20.25 b	110 a
	<i>N. sativa</i> (Çameli)	54.73 a	10.97 b	27.82 a	6.53 a	24.65 a	104 a
	<i>N. damascena</i>	32.16 c	2.77 c	13.13 b	5.54 b	12.98 c	71.2 b
	LSD (G)	1.87**	0.74**	0.74**	0.38*	1.70**	6.63**
Sıra Arası (SA)	20	44.15 b	9.82 a	28.32	5.83 b	14.62 d	95.7
	30	47.24 a	9.72 a	27.37	6.22 ab	18.46 c	99.4
	40	46.22 ab	8.70 b	29.10	6.38 a	20.79 b	94.3
	50	46.33 a	8.74 b	30.70	6.52 a	23.30 a	91.4
	LSD (SA)	2.16*	0.85*	Öd	0.43*	1.97**	Öd
Genotip x Sıra arası etkisi (G x SA)	<i>N. sativa</i> x 20	48.06 c	13.73 ab	28.32	5.77	12.67 de	107 ab
	<i>N. sativa</i> x 30	55.17 a	13.80 ab	27.37	7.03	24.67 c	127 a
	<i>N. sativa</i> x 40	48.67 bc	12.82 b	29.10	6.68	17.00 bc	110 ab
	<i>N. sativa</i> x 50	52.33 abc	15.62 a	30.70	7.10	19.33 bc	97.8 b
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 20	54.13 ab	12.37 b	28.92	6.13	20.47 c	106 b
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 30	53.93 ab	12.05 bc	26.28	6.23	23.07 bc	105 b
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 40	56.90 a	10.43 cd	29.47	6.93	26.70 ab	96.2 b
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 50	53.97 ab	9.02 d	26.60	6.83	28.37 a	108 ab
	<i>N. damascena</i> x 20	30.25 d	3.35 e	11.52	5.60	8.37 f	73.7 c
	<i>N. damascena</i> x 30	32.63 d	3.30 e	13.87	5.40	10.93 ef	66.5 c
	<i>N. damascena</i> x 40	33.08 d	2.85 ef	15.18	5.53	12.77 e	76.2 c
	<i>N. damascena</i> x 50	32.69 d	1.58 f	11.97	5.63	19.83 cd	68.5 c
	LSD (G x SA)	6.47*	2.56**	Öd	Öd	5.90*	22.97*
	Mean	45.98	9.24	23.27	6.24	18.68	95.2

\*\* P<0.01 düzeyinde önemli, \* P<0.05 düzeyinde önemli, Öd: Önemli değil

Sıra arası mesafeler değerlendirildiğinde en düşük ilk dal yüksekliği ortalaması istatistiki olarak aynı grupta yer alan (8.70 -8.74 cm) 50 cm ve 40 cm sıra aralığında, en yüksek ilk dal yüksekliği ortalaması ise istatistiki olarak aynı grupta yer alan 20 cm (9.82 cm) ve 30 cm (9.72 cm) sıra aralığında ölçülmüştür (Tablo 3). Genotip x sıra arası etkisi değerlendirildiğinde, en düşük ilk dal yüksekliği 50 cm (1.58 cm) aralıkla ekimi yapılan *N.*

*damascena* genotipinde, en yüksek ilk dal yüksekliği 50 cm (15.62 cm ) sıra arasında *N. sativa* genotipinden elde edilmiştir (Şekil 1B). Kızılyıldırım ve Gedik (2021) ilk dal yüksekliğini 13.10-20.60 cm arasında, Mengistu ve ark, (2021) ilk dal yüksekliğini 5.13-5.33 cm arasında ve en yüksek 30 cm sıra aralığından, Keser ve Gedik (2021) ilk dal yükseklik ortalamaları 1.53-17.86 cm arasında değiştiğini bildirmiştir.

### İlk Kapsül Yüksekliği (cm)

Bitkide ilk kapsül yüksekliği açısından genotipler arasında istatistiki olarak %1 düzeyinde fark görülürken, sıra arası ve genotip x sıra arası interaksyonu arasında farklılık görülmemiştir. En düşük ilk kapsül yüksekliği ortalaması 20 cm (11.52) sıra aralığında, en yüksek ise 50 cm (30.70 cm) aralığında belirlenmiştir (Tablo 3). Kızılyıldırım ve Gedik (2021) ilk kapsül yüksekliğini 19.767-29.40 cm arasında olduğunu bildirmiştir.

### Dal Sayısı (adet bitki<sup>-1</sup>)

Bitkide dal sayısı ortalama değerleri arasındaki farklılığın genotip ve sıra arası açısından istatistiki olarak %5 düzeyinde önemli çıktığı, genotip x sıra arası interaksyonun ise önemli olmadığı görülmüştür. Kullanılan çörek otu genotiplerinden ortalama dal sayısı 6.53-6.65 adet bitki<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük dal sayısı 20 cm (5.83 adet bitki<sup>-1</sup>) sıra aralığında, en yüksek ise istatistiki olarak aynı grupta yer alan (6.38-6.52 adet bitki<sup>-1</sup>) 40 cm ve 50 cm sıra aralığında belirlenmiştir (Tablo 3). Koşar ve Özel (2018) dal sayısı ortalama değerlerini 2.77-4.63 adet bitki<sup>-1</sup> arasında ve en yüksek Amasya popülasyonundan elde edildiğini, Keser ve Gedik (2021) bitki dal sayısını 4.53-7.33 arasında ve en yüksek Eskişehir II genotipinde görüldüğünü, Kızıl ve Tonçer (2005) bitki dal sayısı ortalaması 3.08- 6.1 adet bitki<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 50 cm sıra aralığından elde edildiğini, Küçükemre (2009), en düşük dal sayısını 1.9 adet ile 30 cm sıra arasında, en yüksek dal sayısını 5.7

adet ile 40 cm sıra aralığında elde edildiğini ve Özel ve ark (2009) dal sayısını 5.60-6.80 cm arasında değiştiği ve en yüksek bitkide dal sayısı 30 cm sıra aralığından elde edildiğini bildirilmişlerdir.

### Kapsül Sayısı (adet bitki<sup>-1</sup>)

Bitkide kapsül sayısı bakımından genotip ve sıra arası mesafeler %1 düzeyinde, genotip x sıra arası interaksyonu ise %5 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. En düşük kapsül sayısı 20 cm (14.62 adet bitki<sup>-1</sup>) sıra aralığında *N. damascena* genotipinde, en yüksek ise 50 cm (23.30 adet bitki<sup>-1</sup>) aralığında Çameli çeşidinde (*N. sativa*) belirlenmiştir (Tablo 3, Şekil 1C). Koşar ve Özel (2018) kapsül sayısını 4.03-7.93 adet bitki<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek Tokat 2 popülasyonundan, Özel ve ark., (2009) kapsül sayısını 10.27-15.97 adet bitki<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 30 cm sıra aralığında görüldüğünü, Keser ve Gedik (2021) kapsül sayısını 14.56-22.08 adet bitki<sup>-1</sup> aralığında, Mengistu ve ark, (2021) kapsül sayısını 21.70-22.78 adet bitki<sup>-1</sup> arasında ve en yüksek 30 cm sıra aralığından elde edildiğini, Kızıl ve Tonçer (2005) kapsül sayısını 7.1-11.3 adet bitki<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 50 cm sıra aralığından elde edildiğini, Saraç (2019) en yüksek kapsül sayısını istatistiki grupta yer alan 40 cm ve 20 cm sıra arası mesafelerde, en düşük kapsül sayısını ise 30 cm sıra arası mesafede elde edildiğini bildirmiştir.

**Tablo 4.** Farklı sıra arası mesafelerde yetiştirilen çörek otu genotiplerine ait; bin tane ağırlığı, tohum verimi, protein oranı, uçucu yağ oranı, uçucu yağ verimi, sabit yağ oranı, sabit yağ verimine ait ortalama değerler

		Bin Tane Ağırlığı (g)	Tohum Verimi (kg da <sup>-1</sup> )	Protein Oranı (%)	Uçucu Yağ Oranı (%)	Uçucu Yağ Verimi (L da <sup>-1</sup> )	Sabit yağ Oranı (%)	Sabit yağ Verimi (kg da <sup>-1</sup> )
Genotip (G)	<i>N. sativa</i>	2.41 b	116 b	19.5 c	0.63 b	0.73 b	32 b	37.1 b
	<i>N. sativa</i> (Çameli)	2.59 a	132 a	20.4 b	1.09 a	1.45 a	32.6 b	43.0 a
	<i>N. damascena</i>	2.25 c	57.9 c	21.9 a	0.65 b	0.38 c	35.7 a	20.6 c
	LSD (G)	0.12*	7.00**	0.06**	0.49**	0.11**	1.42*	3.13**
Sıra Arası (SA)	20	2.41	107 b	20.6 b	0.78	0.91 b	33.8 a	35.9 b
	30	2.48	120 a	20.3 d	0.83	1.06 a	34.3 a	40.8 a
	40	2.4	99.3 b	20.5 c	0.76	0.82 b	31.2 b	30.1 c
	50	2.38	80.7 c	20.9 a	0.78	0.63 c	34.3 a	27.5 c
	LSD (SA)	Öd	8.10**	0.07**	Öd	0.13**	0.07**	3.62**
Genotip x Sıra arası	<i>N. sativa</i> x 20	2.47	119 bc	19.3 i	0.58	0.7 bc	32.6	38.9 bcd

interaksiyonu (G x SA)	<i>N. sativa</i> x 30	2.44	142 ab	19.3 i	0.7	0.99 b	32.2	45.9 ab
	<i>N. sativa</i> x 40	2.36	98.2 cd	19.7 g	0.63	0.62 bcd	30.1	29.6 def
	<i>N. sativa</i> x 50	2.39	103 c	19.5 gh	0.6	0.62 bcd	33.3	34 cde
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 20	2.6	151 a	20.3 f	1.1	1.68 a	33.3	50.6 a
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 30	2.71	155 a	19.4 hi	1.12	1.74 a	34.3	53.4 a
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 40	2.59	141 ab	20.8 e	1.05	1.48 a	28.7	40.6 bc
	<i>N. sativa</i> (Çameli) x 50	2.48	81.4 d	21.2 d	1.08	0.89 b	34.1	27.8 ef
	<i>N. damascena</i> x 20	2.18	51.4 e	22.3 a	0.67	0.34 d	35.6	18.3 g
	<i>N. damascena</i> x 30	2.31	63.8 e	22.1 b	0.68	0.44 cd	36.4	23.2 fg
	<i>N. damascena</i> x 40	2.24	58.3 e	21.1 d	0.6	0.35 d	34.9	20.4 g
	<i>N. damascena</i> x 50	2.26	58.1 e	22 c	0.67	0.39 cd	35.7	20.7 fg
	LSD (G x SA)	Öd	24.23**	0.23**	Öd	0.39**	öd	10.86**
	Mean	2.42	102	20.6	0.79	0.85	33.41	33.59
CV	5.98	7.99	0.37	7.28	15.4	4.3	10.9	

\*\* P<0.01 düzeyinde önemli, \* P<0.05 düzeyinde önemli, Öd: Önemli değil

### Kapsülde Tane Sayısı (adet kapsül<sup>-1</sup>)

Kapsüldeki tane sayısı bakımından genotipler %1, genotip x sıra arası interaksiyonu %5 düzeyinde önemli bulunurken, sıra arası mesafeler arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmektedir (Tablo 4). En düşük kapsüldeki tane sayısı istatistiki olarak aynı grupta yer alan 20,30,40 ve 50 cm aralıklarla ekimi yapılan *N. damascena* genotipinde, en yüksek kapsüldeki tane sayısı 30 cm sıra arasında (126.53 adet kapsül<sup>-1</sup>) *N. sativa* genotipinden elde edilmiştir (Şekil 1D). Özel ve ark., (2009) kapsüldeki tane sayısına ait ortalama değerleri 86.20-85.67 adet kapsül<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 15 cm sıra aralığında görüldüğünü, Mengistu ve ark., (2021) kapsüldeki tane sayısını 92.47-98.74 adet kapsül<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 30 cm sıra aralığından elde edildiğini, Kızıl ve Tonçer (2005) kapsüldeki tane sayısını 79.6- 92.9 adet kapsül<sup>-1</sup> arasında ve en yüksek 40 cm sıra aralığından elde edildiğini, Saraç (2019) en yüksek kapsüldeki tane sayısını 20 cm (95.338) sıra arası mesafede, en düşük ise 30 cm (90.163) sıra arası mesafede olan ekimde elde edildiğini bildirmiştir.

### Bin Tane Ağırlığı (g)

Kullanılan çörek otu genotiplerinde bin tane ağırlığı üzerine genotipin istatistiki olarak %5'e göre önemli olduğu görülürken, sıra arası ve genotip x sıra arası interaksiyonun önemli olmadığı görülmektedir. En düşük bin tane ağırlığı 50 cm (2.38 g) sıra aralığında, en yüksek bin tane ağırlığı ortalaması ise 30 cm (2.48 g) aralığında ölçülmüştür (Tablo 4). Koşar ve Özel (2018) bin tane ağırlığını 1.68-3.40 g arasında

değiştirdiği ve en yüksek Eskişehir 1 popülasyonundan elde edildiğini, Keser ve Gedik (2021) bin tane ağırlığını 2.18-3.46 g arasında olduğunu, Özel ve ark., (2009) bin tane ağırlığının 2.07-2.08 g arasında değiştiğini ve en yüksek 30 cm sıra aralığında görüldüğünü, Örmek (2019) bin tane ağırlığını 1.97-2.72 g arasında, Kızıl ve ark., (2008) bin tane ağırlığını 2.14 g olarak, D'antuono ve ark., (2002) bin tane ağırlığını 2.8-3.1 g arasında bildirmişlerdir.

### Tohum Verimi (kg da<sup>-1</sup>)

Farklı sıra arası mesafelerin tohum verimi üzerine genotip, sıra aralığı ve genotip x sıra aralığı interaksiyonunun istatistiki olarak %1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Kullanılan çörek otu genotiplerinden ortalama tohum verimi 57.91-132.27 kg da<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük tohum verimi 50 cm (80.70 kg da<sup>-1</sup>) sıra aralığında, en yüksek tohum verimi ortalaması ise 30 cm (120.40 kg da<sup>-1</sup>) aralığında belirlenmiştir (Tablo 4). En düşük tohum verimi istatistiki olarak aynı grupta yer alan 20, 30, 40 ve 50 cm aralıklarla ekimi yapılan *N. damascena* genotipinde, en yüksek tohum verimi istatistiki olarak aynı grupta yer alan 20 cm ve 30 cm sıra arasında (151.39-155,00 kg da<sup>-1</sup>) Çameli çeşidinden (*N. sativa* (Çameli)) elde edilmiştir (Şekil 1E). Koşar ve Özel (2018) tohum verimi 28.23-107.41 kg da<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek Eskişehir 1 ve Şanlıurfa 2 popülasyonlarından elde edildiğini, Mengistu ve ark., (2021) tohum verimini ortalama değerleri 507-601 kg ha<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 20 cm sıra aralığından elde edildiğini, Kükükemre (2009) 20, 30, 40 cm sıra

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1009064

aralıklarından alınan tohum verimleri ortalaması sırasıyla 182.2, 234.0 ve 230.5 kg da<sup>-1</sup> arasında değiştiğini en yüksek tohum veriminin ise 30 cm sıra arasından elde edildiğini, Kızıl ve Tonçer (2005) tohum verimini 464-685 kg ha<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve en yüksek 50 cm sıra aralığından elde edildiğini bildirmiştir.

### Protein Oranı (%)

Çörek otunda farklı sıra arası mesafelerin protein oranı üzerine genotip, sıra arası ve genotip x sıra arası etkisinin istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Kullanılan çörek otu genotiplerinde ortalama protein oranı %19.45-21.87 aralığında değişmektedir. En düşük protein oranı 30 cm (%20.26) sıra aralığında, en yüksek protein oranı ortalaması ise 50 cm (%20.89) aralığında elde edilmiştir (Tablo 4). En düşük protein oranı istatistiksel olarak aynı grupta yer alan 20 cm (%19.28) ve 30 cm (%19.29) aralıklarında *N. sativa* genotipinde, en yüksek protein oranı 20 cm aralığında (%22.32) *N. damascena* genotipinden elde edilmiştir (Şekil 1F). Taqi (2013)'ın protein oranı ortalama değerleri %23.47-28.23 arasında değiştiği, Keser ve Gedik (2021) %17.55-%19.72 arasında değişmekte olup en yüksek protein oranına Eskişehir II genotipinde görüldüğünü, Saraç (2019), protein oranı ortalama değerleri %10.26-10.36 arasında değiştiği, en yüksek protein oranı 20 cm sıra arasından elde edildiğini bildirmiştir.

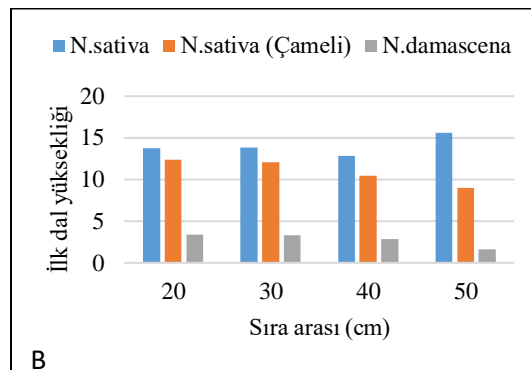
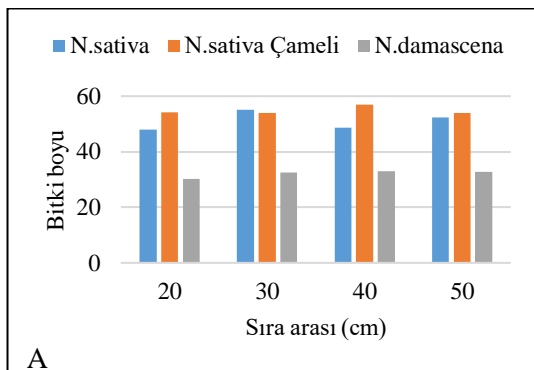
### Uçucu Yağ Oranı (%)

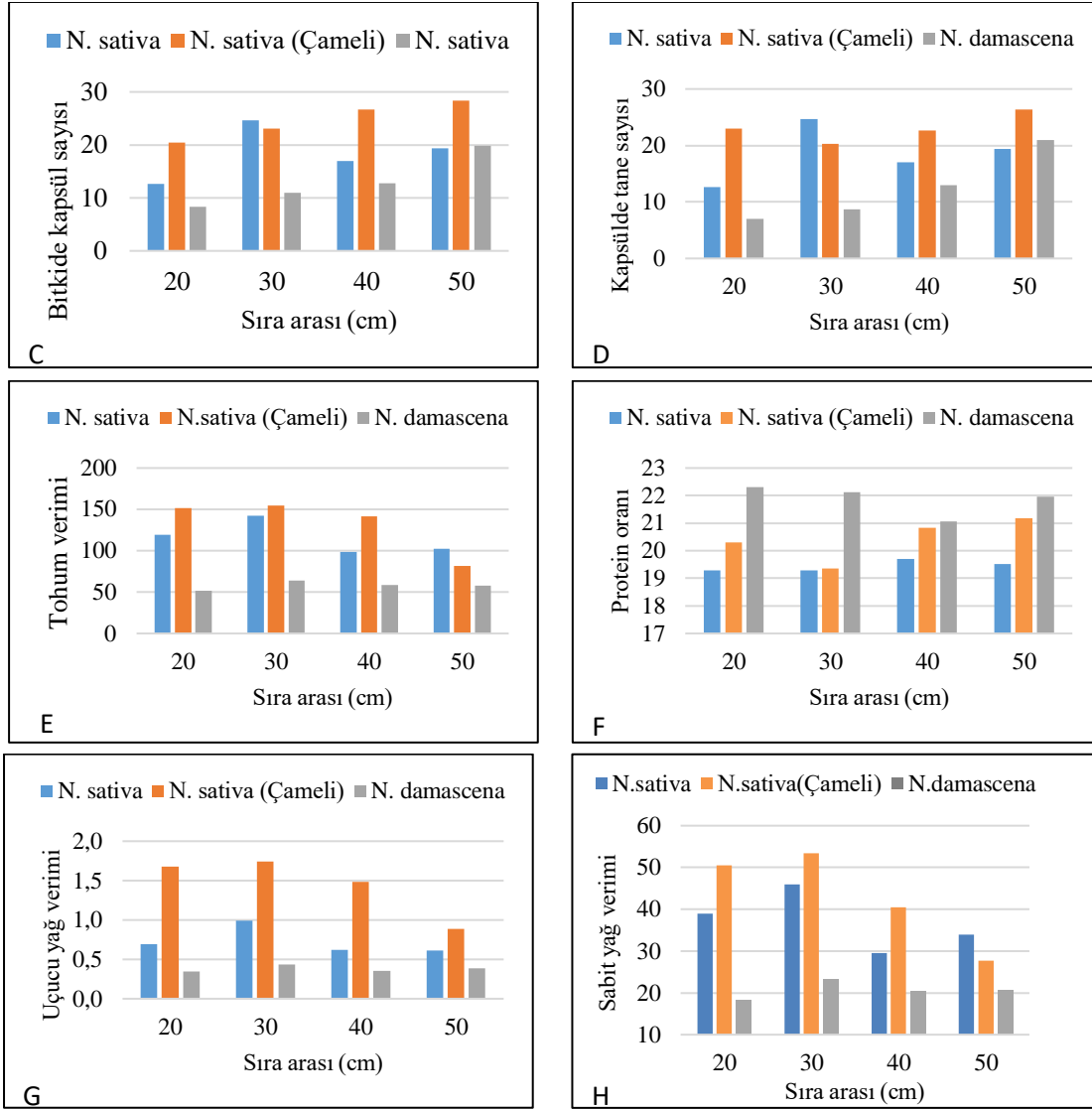
Farklı sıra arası mesafelerin uçucu yağ oranı üzerine genotipler istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu görülürken, sıra arası ve

genotip x sıra arası etkisinin önemli olmadığı görülmüştür. Kullanılan çörek otu genotiplerinde uçucu yağ oranı %0.63-1.09 aralığında değişmektedir. En düşük uçucu yağ oranı 30 cm (%20.26) sıra aralığında, en yüksek uçucu yağ oranı ortalaması ise 50 cm (%20.89) aralığında ölçülmüştür (Tablo 4). Tektaş ve Özel (2017) uçucu yağ oranı ortalama değerleri % 0.08-0.20 arasında değiştiği, Kızıl ve Tonçer (2005) uçucu yağ oranını %0.24-0.38 arasında değiştiği ve en yüksek 50 cm sıra aralığından elde edildiğini, Özel ve ark., (2009) uçucu yağ oranı ortalama değerleri %0.24-0.43 arasında, Shah (2004) uçucu yağ oranını %1.54-1.66 aralığında değiştiğini bildirmiştir.

### Uçucu yağ verimi (L da<sup>-1</sup>)

Tablo 4'e göre sıra arası mesafelerin uçucu yağ verimi üzerinde genotip, sıra arası ve genotip x sıra arası etkisinin istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. En düşük uçucu yağ verimi 50 cm (0.63 L da<sup>-1</sup>) sıra aralığında, en yüksek uçucu yağ verimi ortalaması ise 30 cm (1.06 L da<sup>-1</sup>) aralığında ölçülmüştür. En düşük uçucu yağ verimi istatistiksel olarak aynı grupta yer alan 20 cm (0.34 L da<sup>-1</sup>) ve 40 cm (0.35 L da<sup>-1</sup>) aralıklarla ekimi yapılan *N. damascena* genotipinde, en yüksek uçucu yağ verimi 20, 30, ve 40 cm sıra arasından sırasıyla 1.68, 1.74, 1.48 L da<sup>-1</sup> olarak Çameli çeşidinde (*N. sativa* (Çameli)) elde edilmiştir (Şekil 1G). Özel ve ark., (2009) uçucu yağ veriminin 0.40-1.03 L da<sup>-1</sup> arasında değiştiğini, Giridhar ve ark., (2017) uçucu yağ verimini 2.43-2.89 L da<sup>-1</sup> arasında değiştiğini bildirmiştir.





Şekil 1. Farklı sıra arası mesafelerde yetiştirilen çörek otu (*Nigella* sp.) genotiplerinde; A:Bitki boyu, B: İlk dal yüksekliği, C: Bitkide kapsül sayısı, D: Kapsüldeki tane sayısı, E: Tohum verimi, F: Protein oranı ve G: Uçucu yağ verimine ait ortalamalar

### Sabit yağ oranı (%)

Sabit yağ oranı bakımından genotipler %5, sıra arası mesafe farklılıklarının %1 düzeyinde önemli olduğu görülürken, genotip x sıra arası interaksiyonunun istatistiki olarak önemli olmadığı görülmüştür. Kullanılan çörek otu genotiplerinde sabit yağ oranı %32.02-35.65 aralığında değişmektedir. En düşük sabit yağ oranı 40 cm (%31.21) sıra aralığında, en yüksek sabit yağ oranı ise 20 cm, 30 cm ve 50 cm (%33.8-34.3-34.34) aralıklarından elde edilmiştir (Tablo 4). Koşar ve Özel (2018) sabit yağ oranının %36.42-40.17 arasında değiştiği, Bayhan (2019) sabit yağ oranının %21.75-29.74 arasında,

Kızıllı ve ark., (2008) %36.7 olarak, Kulan ve ark., (2012) %38.91-40.58 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

### Sabit yağ verimi (kg da<sup>-1</sup>)

Tablo 4'e göre sabit yağ verimi bakımından genotip, sıra arası ve genotip x sıra arası interaksiyonunun istatistiki olarak %1 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Kullanılan çörek otu genotiplerinden ortalama sabit yağ verimi 20.64-43.04 kg da<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük sabit yağ verimi ortalaması istatistiki olarak aynı grupta yer alan (27.49 kg da<sup>-1</sup>) 50 cm ve (30.14 kg da<sup>-1</sup>) 40 cm sıra aralığında, en yüksek sabit yağ

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1009064

verimi ortalaması ise 30 cm (47.24 kg da<sup>-1</sup>) ve 50 cm (40.83 kg da<sup>-1</sup>) sıra aralığında belirlenmiştir. En düşük sabit yağ verimi 20 cm (18.29 kg da<sup>-1</sup>) ve 40 (20.36 kg da<sup>-1</sup>) cm aralıklarla ekimi yapılan *N damascena* genotipinde, en yüksek sabit yağ verimi 20 cm (50.56 kg da<sup>-1</sup>) ve 30 cm (53.35 kg da<sup>-1</sup>) sıra arasında Çameli çeşidinde (*N. sativa*

## SONUÇ

Yürütülen bu çalışmada genotip, sıra arası mesafeler ve genotip x sıra arası interaksyonu bakımından elde edilen verilerden; tohum verimi, uçucu yağ verimi ve sabit yağ verimi bakımından değerlendirildiğinde genotip olarak Çameli çeşidi (*N. sativa* (Çameli)) ve sıra arası mesafe olarak;

## TEŞEKKÜR

Bu makale Zeliha AYSABAR'ın yüksek lisans tezinden üretilmiş ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje No: 2020/3-4 YLS) desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Anonim. (2013). SAS Institute Inc., SAS/STAT User's Guide, Version 9.8, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Anonim. (2020). Kahramanmaraş İli Meteoroloji İstasyonunda ölçülen 2019-2020 ve uzun yıllar iklim verileri.
- Başer, K.H.C. (2010). Çörek Otu (*Nigella sativa*). Bağbahçe dergisi, 32 (3), 26-27.
- Baydar, H. (2013). Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi (Genişletilmiş 4. Üniversitesi. Yayın No: 51)
- Baydar, H. (2016). Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Isparta
- Bayhan, A. (2019). Samsun şartlarında farklı ekim zamanlarının çörek otunun (*Nigella sativa*) bazı tarımsal ve kalite özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun. 61s.
- Bulca, S. (2014). Çörek otunun bileşenleri ve bu yağın ve bazı diğer uçucu yağların antioksidan olarak gıda teknolojisinde kullanımı. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 11 (2), 29-36.
- Ceylan, A. (1997). Tıbbi bitkiler II (uçucu yağ bitkileri) Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bitkileri Bölümü. Ege Üniversitesi Basınevi. Bornova İzmir

(Çameli)) elde edilmiştir (Şekil 1H). Taqi (2013) sabit yağ verimini 18.78-41.08 kg da<sup>-1</sup>, Kamçı (2019) sabit yağ verimini 6.12-48.94 kg da<sup>-1</sup>, Koşar (2019) sabit yağ verimi 36.42-40.17 kg da<sup>-1</sup>, Saraç (2019) sabit yağ verimini 12.32-37.24 kg da<sup>-1</sup> arasında elde edildiğini bildirmiştir.

belirtilen özelliklerde istatistiki olarak aynı grupta yer alan 30 (155.00 kg da<sup>-1</sup> tohum verim) cm ve 20 (151.39 kg da<sup>-1</sup> tohum verim) cm sıra arası mesafelerde ekimin yapılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak bu çalışma tek yıllık bir çalışma olduğu için çalışmanın tekrarlanması ve benzer çalışmaların yapılması ile daha güvenilir sonuçlar elde edebilecektir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

- D'antuono, L. F., Moretti, A., ve Lovato, A. F. (2002). Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. Industrial crops and products, 15 (1), 59-69.
- Ertaş, M.E. (2016). Tokat kazova ekolojik koşullarında kışlık ve yazlık ekilen çörek otu (*Nigella* sp.) genotiplerinin agronomik ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Gaziosmanpaşa. Tokat. 62s.
- Giridhar, K., Reddy, S. G., Kumari, S., Kumari, A. L. and Sivasankar, A. (2017). Influence of Sowing Window and Plant Density on Growth. Phenology. Yield and Quality of *Nigella sativa* L. in Coastal Humid Tropic. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6 (9), 499-512.
- Güllü, E. ve Avcı, G. (2013). Timokinon: *Nigella sativa*'nın biyoaktif komponenti. Kocatepe Veteriner Dergisi. 6 (1), 51-61.
- JMP. (2010). JMP User Guide, Release 10 Copyright © 2010, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, ISBN 978-1-59994-408-1.
- Kamçı, G. (2019). Çörekotu (*Nigella sativa* L.) da farklı ekim zamanı ve sulamanın verim ve kalite kriterleri üzerine etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans, Tezi , Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1009064

- Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim dalı, Diyarbakır. 70s.
- Keser, E. ve Gedik, O. (2021). Kahramanmaraş Ekolojik Koşullarında Kışlık ve Yazlık Ekilen Çörek Otu (*Nigella sp.*) Genotiplerinin Tarımsal ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18 (1), 73-81.
- Kızılyıldırım, H. ve Gedik, O. (2021). Kahramanmaraş koşullarında farklı azot dozu uygulamalarının çörek otunun (*Nigella sativa*) verim ve kalitesine etkisi, Ege Univ. Ziraat Fak. Dergisi, 58 (3), 355-364.
- Kızıl, S., ve Tonçer, O. (2005). Effect of row spacing on seed yield, yield components, fatty oil and essential oil of *Nigella sativa* L. Crop Research-Hisar, 30 (1), 107.
- Kulan, E. G., Turan, Y. S., Gülmezoğlu, N., Kara, İ. ve Aytaç, Z. (2012). Kuru koşullarda yetiştirilen çörek otunun (*Nigella sativa* L.) bazı agronomik ve kalite özellikleri. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu ,13-15 Eylül 2012 Bildiri kitabı. Tokat.
- Koşar, İ. ve Özel, A. (2018). Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Çeşit ve Popülasyonlarının Karakterizasyonu: I. Tarımsal Özellikler. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi. 22 (4), 533-543.
- Koşar, İ. (2019). Çörek otu (*Nigella sativa* L.) Çeşit ve Popülasyonlarının Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 154s.
- Küçükemre, D. (2009). Çörek otunda (*Nigella sativa* L.) farklı sıra aralıkları ve ekim normunun verim ve kalite üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 67 s.
- Mengistu, F. G., Wegayehu, G., Ali, D. F. A., ve Fufa, D. T. N. (2021). The Influence of Seed Rate and Inter-Row Spacing on Seed Yield and Yield Attributes of Black Cumin in Arsi Highlands, Ethiopia.
- Özel, A., Demirel, U., Güler, İ. ve Erden, K. (2009). Farklı sıra aralığı ve tohumluk miktarlarının çörek otunda (*Nigella sativa* L.) verim ve bazı tarımsal karakterlere etkisi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 2009.13 (1), 17-25.
- Örmek, U. (2019). Mardin kuru koşullarına uygun çörek otu (*Nigella sativa*) çeşit ve hatlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa. 58s.
- Saraç, S. (2019). Çörekotu (*Nigella sativa*) bitkisinde kışlık ekim zamanında sıra arası mesafe ile ekim normunun verim ve bazı kalite kriterlerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 50s.
- Shah, S. H. (2007). Influence of combined application of nitrogen and potassium on nutrient uptake and productivity of black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian journal of plant science , 6 (2), 403-406
- Taqi, H. (2013). Samsun koşullarında bazı çörek otu (*Nigella sativa* L.) popülasyonlarında önemli tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun. 110s.
- Tektaş, E. ve Özel, A. (2017). Harran ovası koşullarında birim alandaki tohum sayısının çörek otu (*Nigella sativa* L.)'nun verim ve bazı bitkisel özelliklerine etkisi. 12.Tarla Bitkileri Kongresi, Kahramanmaraş, Elektronik Kongre Kitabı, 314-318.
- Ürüşan, Z. ve Polat, T. (2017). Bazı çörek otu (*Nigella sativa* L., *Nigella damascena*) genotiplerinde tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. 12.Tarla Bitkileri Kongresi, Kahramanmaraş, Elektronik Kongre Kitabı, 345.



## Fmoc Grubu Taşıyan Dipeptit Yapılarının Termal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Eray Çalışkan<sup>1\*</sup>, Fatih Biryan<sup>2</sup>, Kenan Koran<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bingöl, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye

\*ecaliskan@bingol.edu.tr<sup>ID</sup>, fatihbiryan@gmail.com<sup>ID</sup>, kenan.koran@gmail.com<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 19.10.2021, Makale kabul tarihi: 08.03.2022

### Öz

Bu çalışmada Fmoc grubu ile korunmuş amino asitler ile karboksilik asit ucu metil ester olan amino asitlerin reaksiyonu bir seri dipeptit bileşikleri sentezlendi. Sentezlenen bileşiklerin yapısı FT-IR, <sup>1</sup>H-<sup>13</sup>C NMR spektroskopi teknikleriyle karakterize edildi. Bileşiklerin termal bozunma sıcaklıkları oda sıcaklığından 600°C'ye kadar azot atmosferinde termogravimetrik analiz yöntemiyle belirlendi. Dipeptitlerin TGA eğrileri incelendiğinde termal bozunma sıcaklıkları 181 ile 200 °C aralığında değiştiği gözlemlendi. Dipeptitlerin 1-30 kHz frekans aralığında empedans analizör cihazı ile elektriksel davranışları incelendi. Dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, suseptans ve empedans parametrelerindeki değişim frekansın bir fonksiyonu olarak araştırıldı. Dipeptitlerin dielektrik sabiti 5.99 ile 6.67 aralığında değişmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dipeptit, dielektrik analiz, termal özellik

## Investigation of Thermal and Electrical Properties of Dipeptides Containing Fmoc Group

### Abstract

In this study, a series of dipeptide compounds were synthesized as a result of the reaction of Fmoc group protected amino acids and amino acids with carboxylic acid end methyl esters with triazine reagent. The structures of the synthesized compounds were characterized by FT-IR, <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C APT NMR spectroscopy techniques. The thermal decomposition temperatures of the compounds were determined by thermogravimetric analysis method in nitrogen atmosphere from room temperature to 600 °C. When the TGA curves of the dipeptides were examined, it was observed that the thermal decomposition temperatures varied between 181 and 200 °C. The electrical behavior of the dipeptides was investigated with an impedance analyzer in the frequency range of 1-30 kHz. The variation in dielectric constant, dielectric loss, susceptibility and impedance parameters were investigated as a function of frequency. The dielectric constant of the dipeptides ranges from 5.99 to 6.67.

**Keywords:** Dielectrical analysis, dipeptides, thermal properties

### GİRİŞ

Fonksiyonel malzemelerin gelişimi, optik, mekanik, elektrik, termal, biyolojik özelliklerinden dolayı araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir. Tasarımları nedeniyle bu tür malzemeler optik iletişim, lazer işleme, optik hesaplama, enerji depolama, dinamik holografi ve ilaç salınım sistemleri gibi birçok alanda uygulanabilir (Darling ve Jeoma, 2020; Narayan ve Dharmaprakash, 2002).

9-florenilmetiloksisarbonil (Fmoc) grubu ile modifiye edilmiş amino asitler ve kısa peptitler, seçkin kendiliğinden kurulma özelliklerine sahiptir ve Fmoc parçasının yapı taşlarının birleşmesini destekleyebilen doğal hidrofobikliği ve aromatikliği nedeniyle uygulamalar için farklı potansiyel özellik gösterir (Tao ve ark., 2016).

İnorganik malzemelerle karşılaştırıldığında, organik malzemeler, gerekli asimetric polarizasyonu artıran delokalize p-elektron sistemleri ve zayıf Vander Waals kuvvetlerinin varlığı nedeniyle üstün doğrusal olmayan optik özelliklere (NLO) özelliklerine sahiptir (Lydia ve Vasudevan, 2008). Organik maddeler sınıfında, amino asitler, ilginç doğrusal olmayan optik özellikleri, geniş optik şeffaflıkları, zwitteriyonik yapıları ve kiral simetrisi nedeniyle NLO çalışmasında büyük öneme sahiptir (Ramesh Kumar ve ark., 2005).

Termogravimetrik analiz (TGA), genel olarak bir numunenin kütesinin sabit ısıtma hızında sıcaklığın fonksiyonu veya sabit sıcaklıkta zamanın fonksiyonu olarak ölçüldüğü analiz yöntemidir. TGA yöntemi organik bileşiklerin kimyasal kinetiklerinin ve bozunma karakteristiklerinin incelenmesinde kullanılan ısıl tekniklerden birisidir (Sokoto ve ark., 2016; Amini ve ark., 2019). Organik bileşiklerin termal kararlılıklarına bağlı olarak termal davranışlarının araştırılması birçok uygulama için kullanılmaktadır. Termogravimetrik analiz (TGA) metodu bu amaç için kullanılan en yaygın tekniklerden biridir (Kurt, 2009). Analiz kolaylığı ve kesin sonuç vermesi yönünden termogravimetrik analiz metodu organik-inorganik bileşikler ve polimerlerin termal kararlılıklarının yanında termal bozunma aktivasyon enerjilerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Kurt, 2010). Son yıllarda çeşitli katı malzemeleri değerlendirmenin en yaygın tekniklerinden biri olan dielektrik özellikleri üzerinde çalışmalar ilgi görmüştür. Dielektrik sabiti, dielektrik kayı ve iletkenlik değerleri cihazların tasarımında gerekli olan çok önemli parametrelerdir ve ayrıca, malzemelerin fiziksel veya kimyasal durumu hakkında birçok veriyi gün ışığına çıkarırlar. Bileşiklerin dielektrik davranışları, polar gruplarının yük dağılımı ve istatistiksel termal davranışı ile belirlenir. Bu dielektrik parametreler, çok fonksiyonlu elektronik ve optoelektronik cihazlarda malzeme olarak birçok potansiyel uygulama alanına sahiptir (Ramachandra Raja ve ark., 2009; Suneetha ve Rajan Babu, 2018).

Literatürde bazı organik bileşiklerin bir takım fiziksel özelliklerinin araştırılmasına yönelik bazı çalışmalar bulunmasına rağmen, kalkon gruplu poliakrilamit'in termal ve dielektrik özelliklerinin birlikte belirlenmesine yönelik çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu çalışmada ilk olarak farklı amino asit dizilimine sahip olan yeni dipeptit

bileşikleri hazırlandı ve karakterize edildi. Termal özelliklerini belirlemek amacıyla oda sıcaklığından başlayarak ısıtılan numunenin kütle kaybı incelendi ve termal bozunma sıcaklıkları karşılaştırıldı. Dipeptit bileşiklerinin elektrik alan altında polar grupların yük dağılımını ve alternatif iletkenliğinin belirlenmesi için empedans analizör ile frekansın bir fonksiyonu olarak dielektrik özellikleri ölçüldü ve karşılaştırmalı olarak grafiği çizildi.

## MATERİYAL ve METOD

Sentez basamaklarında kullanılan 2-kloro-4,6-dimetoksi-1,3,5-triazin (CDMT), N-metil morfolin, ve asetonitril Sigma-Aldrich, NMR analizinde kullanılan DMSO-d<sub>6</sub> Merck firmasından temin edilmiştir. Bileşiklerin karakterizasyonunda ve fiziksel ölçümlerinde; FT-IR spektrumları Thermo Scientific Nicole IS5 FT-IR spektrometre cihazı ile NMR Spektrumları Bruker Avance III-400, TGA analizleri SHIMADZU marka DTG-60 termal analiz cihazı ve dielektrik parametrelerin ölçümlerinde HIOKI IM3536 marka LCR metre cihazı kullanılmıştır.

### Genel Sentez Yöntemi

Amino kısmı Fmoc grubu ile korunmuş amino asit (1.00 mmol), CDMT (1.1 mmol) ve karboksilik asit ucu metil ester olan amino asit tek boyunlu reaksiyon balonuna ilave edilir ve asetonitril eklenerek karışmaları sağlanır (Şema 1). Oda sıcaklığında N-metil morfolin (1.5 mmol) karışıma damla damla eklenir. Reaksiyon takibi ince tabaka kromatografisi ile yapılır. Sonlanan reaksiyonun çözücüsü  $\frac{3}{4}$  oranında döner buharlaştırıcı altında uzaklaştırılır. İçinde saf su bulunan behere ilave edilir. İlk etapta eklenen madde tamamen çözüldükten sonra çökelme gözlenir. Karışımdan süzülerek ayrılan hedef ürün kurumaya bırakılır. Elde edilen bileşiklerin yapı aydınlatmaları FT-IR, <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C APT NMR spektroskopisi ile gerçekleştirilmiştir (Kamiński 1997).

**Fmoc-Gly-Gly-OMe** bileşiği yukarıda belirtilen genel sentez yöntemi uygulanarak %76 verim ile beyaz katı madde olarak elde edilmiştir. Bileşiğe ait <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C NMR verileri literatür ile uyumludur (Dzubeck ve Schneider 2000) ve şu şekildedir; <sup>1</sup>H NMR (DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$ : 8.33 – 8.30 (t, 1H, -NH), 7.92 – 7.90 (d, J = 8.0 Hz, 2H), 7.75 – 7.73 (d, J = 8.0 Hz, 2H), 7.65 – 7.62 (t, 1H, -NH), 7.44 – 7.42 (t, 2H), 7.37 – 7.33 (t, 2H), 4.31 – 4.29 (d, J = 8.0 Hz, 2H), 4.26 – 4.22 (t, 1H), 3.88 – 3.87 (d, J = 4.0 Hz, 2H), 3.68 -

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1011511

3.66 (d,  $J = 8.0$  Hz, 2H), 3.64 (s, 3H).  $^{13}\text{C}$ -APT NMR (DMSO- $d_6$ ): 170.75, 170.17, 156.95, 144.32, 141.20, 128.12, 127.57, 120.61, 66.21, 52.18, 47.08, 43.70. Elemental analysis:  $\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{N}_2\text{O}_5$  required C, 65.21; H, 5.47; N, 7.60/ found C, 64.98; H, 5.51; N, 7.59.

**Fmoc-Gly-Ala-OMe** bileşiği yukarıda belirtilen genel sentez yöntemi uygulanarak %71 verim ile gri renkli katı madde olarak elde edilmiştir. Bileşiğe ait  $^1\text{H}$  ve  $^{13}\text{C}$  NMR verileri literatür ile uyumludur (Ramesh ve ark., 2011) şu şekildedir;  $^1\text{H}$  NMR (DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.36 – 8.34 (d,  $J = 8.0$  Hz, 1H, -NH), 7.92 – 7.91 (d,  $J = 4.0$  Hz, 2H), 7.75 – 7.73 (d,  $J = 8.0$  Hz, 2H), 7.59 – 7.56 (t, 1H, -NH), 7.45 – 7.42 (t, 2H), 7.36 – 7.33 (t, 2H), 4.28 (s, 2H), 3.64 (s, 3H), 1.30 – 1.28 (d,  $J = 8.0$  Hz, 3H).  $^{13}\text{C}$ -APT NMR (DMSO- $d_6$ ): 173.51, 169.44, 156.93, 144.32, 141.19, 128.12, 127.56, 125.75, 120.61, 66.17, 52.38, 47.97, 47.07, 43.45, 17.56. Elemental analysis:  $\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_5$  required C, 65.96; H, 5.80; N, 7.33/ found C, 65.88; H, 5.69; N, 7.39.

**Fmoc-Ala-Gly-OMe** bileşiği yukarıda belirtilen genel sentez yöntemi uygulanarak %77 verim ile gri renkli katı madde olarak elde edilmiştir. Bileşiğe ait  $^1\text{H}$  ve  $^{13}\text{C}$  NMR verileri literatür ile uyumludur (Murakami ve ark., 1996) şu şekildedir;  $^1\text{H}$  NMR (DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.34 – 8.31 (t, 1H, -NH), 7.92 – 7.90 (d,  $J = 8.0$  Hz, 2H), 7.77 – 7.74 (t, 2H), 7.62 – 7.60 (d,  $J = 8.0$  Hz, 1H), 7.45 – 7.42 (t, 2H), 7.37 – 7.33 (t, 2H), 4.29 – 4.23 (m, 2H), 4.14 – 4.10 (m, 1H), 3.89 – 3.84 (m, 2H), 3.64 (s, 3H), 1.26 – 1.24 (d,  $J = 8.0$  Hz, 3H).  $^{13}\text{C}$ -APT NMR (DMSO- $d_6$ ): 173.59, 170.74, 156.17, 144.39, 144.27, 141.19, 128.12, 127.56, 125.81, 120.59, 66.11, 52.16, 50.31, 47.10, 41.00, 18.63. Elemental analysis:  $\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_5$  required C, 65.96; H, 5.80; N, 7.33/ found C, 65.92; H, 5.71; N, 7.28.

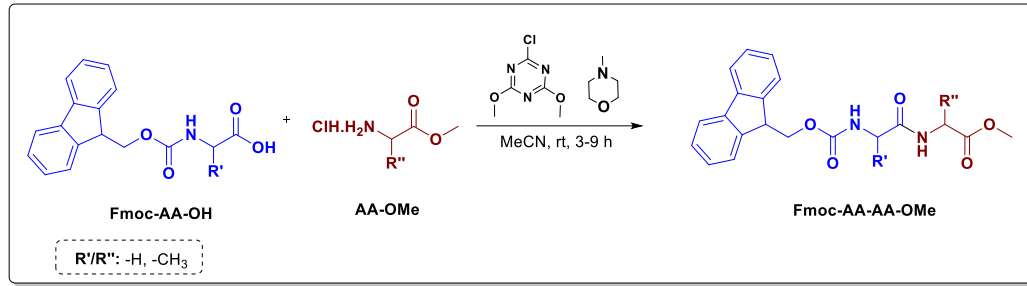
**Fmoc-Ala-Ala-OMe** bileşiği yukarıda belirtilen genel sentez yöntemi uygulanarak %79 verim ile gri renkli katı madde olarak elde edilmiştir. Bileşiğe ait  $^1\text{H}$  ve  $^{13}\text{C}$  NMR verileri literatür ile uyumludur (Davies and Hakeem 1984) şu şekildedir;  $^1\text{H}$  NMR (DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.35 – 8.33 (d,  $J = 8.0$  Hz, 1H, -NH), 7.92 – 7.90 (d,  $J = 8.0$  Hz, 2H), 7.76 – 7.73 (t, 2H), 7.57 – 7.55 (d,  $J = 8.0$  Hz, 1H), 7.45 – 7.42 (t, 2H), 7.36 – 7.32 (t, 2H), 4.31 – 4.20 (m, 4H), 4.13 – 4.06 (m, 1H), 4.06 (s, 3H), 1.30 – 1.29 (d,  $J = 4.0$  Hz,

3H), 1.24 – 1.23 (d,  $J = 4.0$  Hz, 3H).  $^{13}\text{C}$ -APT NMR (DMSO- $d_6$ ): 173.52, 173.05, 156.13, 144.39, 144.27, 141.19, 128.11, 127.55, 125.79, 120.60, 66.05, 52.33, 50.03, 47.96, 47.09, 18.56, 17.35. Elemental analysis:  $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_5$  required C, 66.65; H, 6.10; N, 7.07/ found C, 66.88; H, 5.99; N, 6.95.

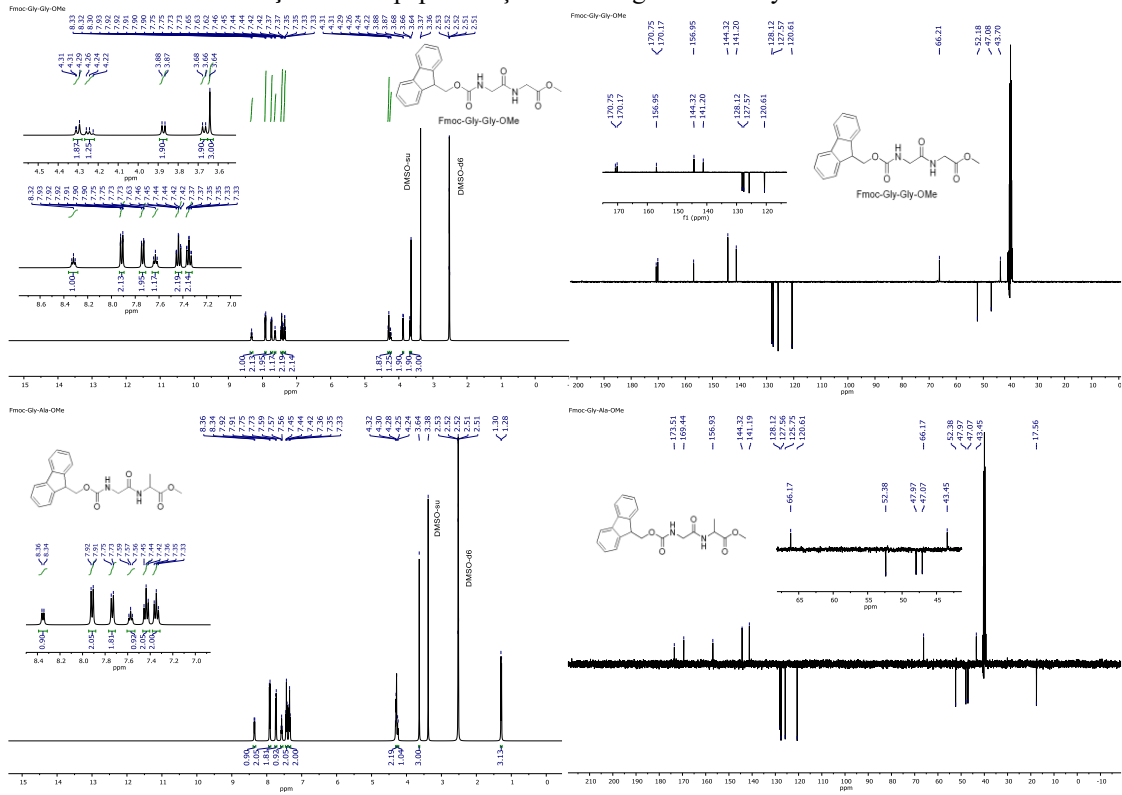
## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elde edilen dört hedef bileşiğin  $^1\text{H}$  ve  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumları Şekil 1-2’de görülmektedir. Spektrumlarda görülen karakteristik pikler dipeptit bileşiklerinin başarılı bir şekilde elde edildiğini kanıtlamaktadır. Öncelikle giriş maddelerinden Fmoc korumalı amino asidin karboksilik asit protonunun kaybolması ve bu yapıya bağlanan diğer amino asit grubuna ait alifatik piklerin varlığı ve oluşan amit bağına ait NH protonunun varlığı yapıların elde edildiğini göstermektedir. Fmoc-Gly-Ala-OMe bileşiğinin  $^1\text{H}$  ve  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumları incelendiğinde hedef bileşiğe ait glisin amino asitinde mevcut olan  $-\text{CH}_2$  protonlarının 4.28 ppm’de, bu gruba bağlanan alanin amino asidinden gelen  $-\text{CH}_3$  protonları 1.30 ppm’de,  $-\text{CH}$  protonu 4.25 ppm’de ve metil esterine ait  $-\text{OCH}_3$  protonları 3.64 ppm’de singlet olarak rezonans olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 3’te verilen karşılaştırmalı FT-IR spektrumunda karakteristik olarak  $1740\text{ cm}^{-1}$ ’deki yapıya yeni katılan ester karbonil pikinin varlığı ve giriş maddesine ait karboksilik asitin  $-\text{OH}$  pikinin kaybolması da yapının başarılı bir şekilde elde edildiğini ispatlamaktadır.

FT-IR spektrumunda absorbanza karşılık gelen pik şiddeti ise bağın polarizasyonu ile ilgilidir. Bir moleküldeki fonksiyonel grubun polarizasyonu ne kadar fazla ise IR piki o kadar şiddetlidir ( $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{N}$  gibi). Bu çalışmadaki dipeptit bileşiklerindeki karbonil grubunun bağ polarizasyonunu ve çift bağ karakteri hidrojen bağı etkisi ile azaldığı bu nedenle pik şiddetini düşürdüğü düşünülmektedir. Dipeptitlerin olası molekül içi hidrojen bağları Şekil 3’de gösterilmiştir. Literatürde benzer yapıların FT-IR spektrumlarında da bu durum gözlenmektedir (Gong ve ark., 2016; Zeng ve ark., 2014; Athanasiou ve ark., 2020)

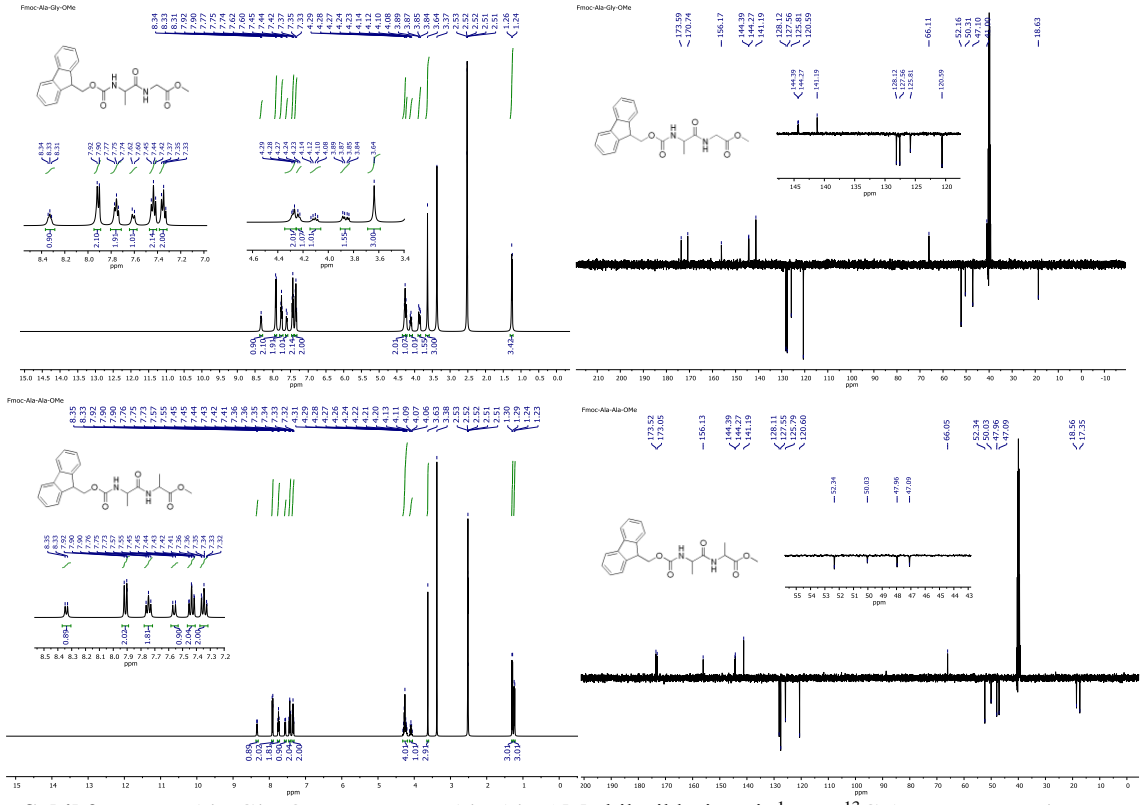


Şema 1. Dipeptit bileşiklerine ait genel sentez yöntemi

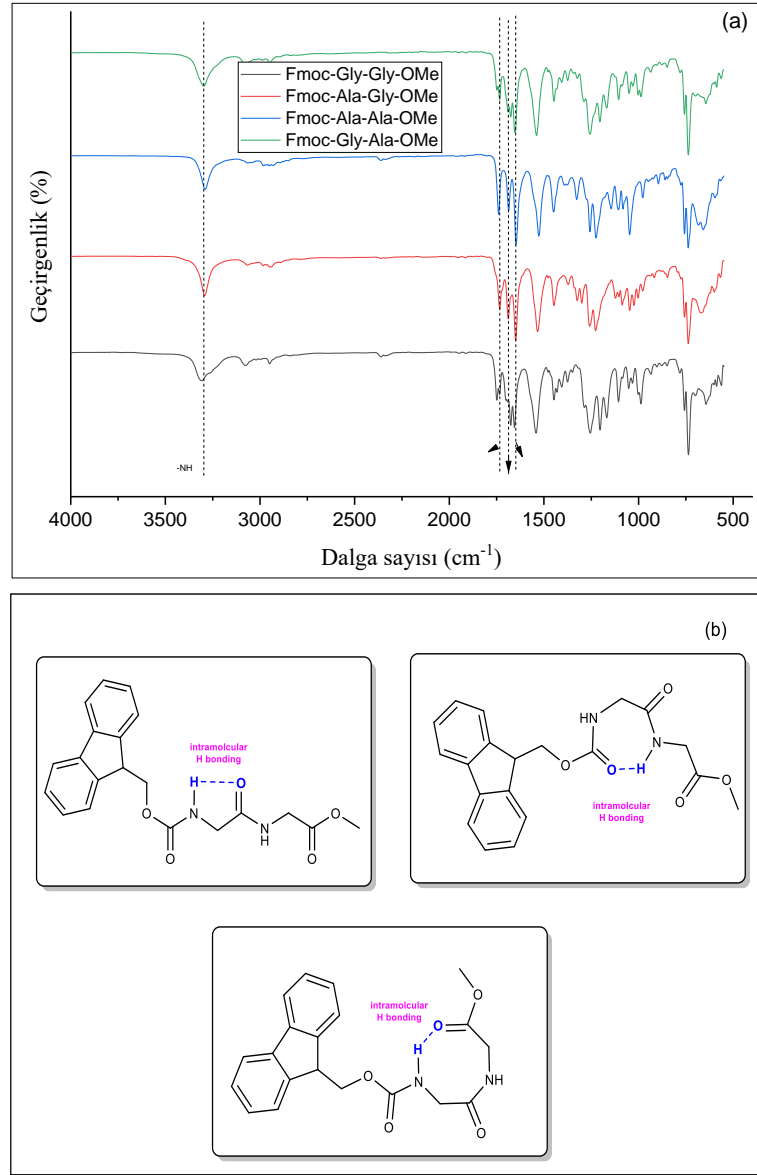


Şekil 1. Fmoc-Gly-Gly-OMe ve Fmoc-Gly-Ala-OMe bileşiklerine ait <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C APT NMR spektrumu

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1011511



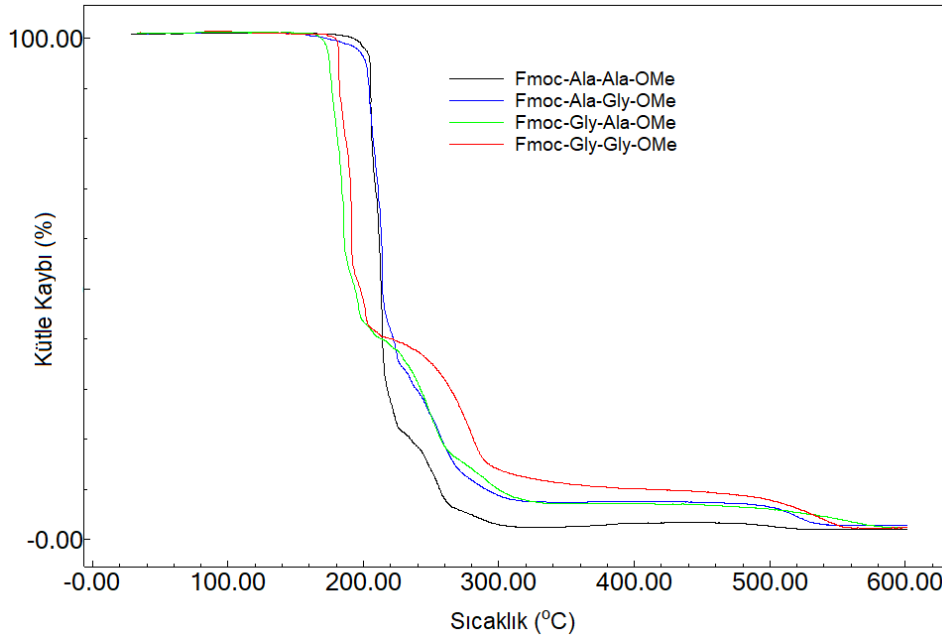
Şekil 2. Fmoc-Ala-Gly-OMe ve Fmoc-Ala-Ala-OMe bileşiklerine ait <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C APT NMR spektrumu



Şekil 3. a) Hedef bileşiklere ait karşılaştırmalı FT-IR spektrumu b) Olası molekül içi hidrojen bağları

**Tablo1.** Homopolimerin farklı ısıtma hızlarındaki TGA sonuçları

Isıtma Hızı (°C)	T <sub>baş</sub> (°C)	T <sub>%50</sub> (°C)	600'deki atık (%)
Fmoc-Ala-Ala-OMe	200	214	1.9
Fmoc-Ala-Gly-OMe	196	214	1.9
Fmoc-Gly-Ala-OMe	170	194	2.4
Fmoc-Gly-Gly-OMe	181	198	2.1



Şekil 4. Dipeptit bileşiklerinin TGA eğrileri

### Dipeptitlerin Termal Özellikleri

Dipeptitlerin termal özellikleri sabit ısıtma hızında sıcaklığın fonksiyonu olarak TGA ölçümlerinden belirlendi. Vakum altında 40 °C'de 24 saat kurutulmuş toz halindeki maddelerden ortalama 5 mg tartılıp azot gazı atmosferinde 10 °C dk<sup>-1</sup> ısıtma hızıyla sırasıyla oda sıcaklığından başlayarak ve 600 °C hedef sıcaklığına kadar ısıtılarak TGA eğrileri kaydedildi. Karşılaştırmalı TGA grafiği Şekil 4'da verilmiştir.

Dipeptitlerin TGA eğrileri incelendiğinde termal bozunma sıcaklıkları 181 ile 200 °C aralığında değişmektedir. Genel olarak iki aşamalı bozunma gösteren dipeptit bileşiklerinin ilk kademede ani kütle kaybının yapıdaki Fmoc grubunun ayrılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Fmoc grubu dipeptit yapılarının kütlece ortalama %45-50 ye karşılık gelmektedir. Yüzde elli kütle kaybına karşılık sıcaklıklarda birbirine çok yakın olarak belirlenmiştir. Dipeptitlerin TGA sonuçları Tablo 1'de özetlenmiştir.

### Dipeptitlerin Dielektrik Özelliklerinin Belirlenmesi

Dipeptitlerin elektriksel özelliklerini incelemek amacıyla toz halindeki numuneler hidrolik press makinesi kullanılarak 5 ton altında pellet haline getirildi. Bu amaç için ortalama 80-100 mg numune 13 mm çapındaki disk aparatına konuldu ve kademeli

bir şekilde basınç uygulanarak pürüzsüz yüzeye sahip pelletler oluşturuldu. Elde edilen pelletlerin kalınlıkları analiz sonrası hesaplamalarda kullanılmak üzere dijital bir kumpas yardımıyla hassas bir şekilde ölçüldü. Numuneler sırayla iki kondaktör arasına alınarak bağlantıları yapıldıktan sonra empedans analizörden uygulanan elektrik alan aralığında dielektrik parametreleri belirlendi (1-30 kHz). Oda sıcaklığında kaydedilen kapasitans, dielektrik kayıp faktörü ve konduktans değerleri kullanılarak aşağıdaki formüller yardımıyla dielektrik özellikleri hesaplandı (Gurgenc ve Biryant, 2020).

$$\epsilon' = C_p \frac{d}{A\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\epsilon'' = \epsilon' DF \quad (2)$$

$$\sigma = G_p \frac{d}{A} \quad (3)$$

A: Numunenin alanı (cm<sup>2</sup>);

$\epsilon'$ : Dielektrik sabiti

C: Numunenin kapasitansı (F);

$\epsilon''$ : Dielektrik kayıp

d: Numunenin çapı (cm)

$\epsilon_0$ : Boşluğun dielektrik sabiti (8.85x10<sup>-14</sup> F cm<sup>-1</sup>)

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1011511

Sentezlenen dipeptit bileşiklerinin hesaplanan dielektrik sabiti değerleri Şekil 5' de dielektrik kayıpları Şekil 7'de frekansın bir fonksiyonu olarak gibi grafiğe geçirilmiştir. Düşük frekans bölgesinde dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp değerlerinde artan frekansla önemli bir düşüş yaşanırken daha yüksek frekans bölgesinde bu düşme eğilimi oldukça azalmakta ve neredeyse sabit bir değerde kalmaktadır. Bu davranışın sebebinin düşük frekans bölgesinde malzemede oluşan arayüzey, atomik ve elektronik polarizasyonunun çok etkin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Li ve ark., 2003; Ilangovan ve ark., 2017). Bu etkilerden atomik ve elektronik polarizasyonlar ani gelişen etkileşimlerdir ve dielektrik özelliklerin frekansa bağlılığını çok etkilemez (Çalışkan ve ark., 2020; Pethrick ve Hayward 2002). Dielektrik kayıp değeri ölçüm esnasında malzemeye uygulanan elektromanyetik enerjinin ısı enerjisine dönüşen kısmıdır (Çalışkan ve ark., 2021; Ilgaz ve Perin 2021).

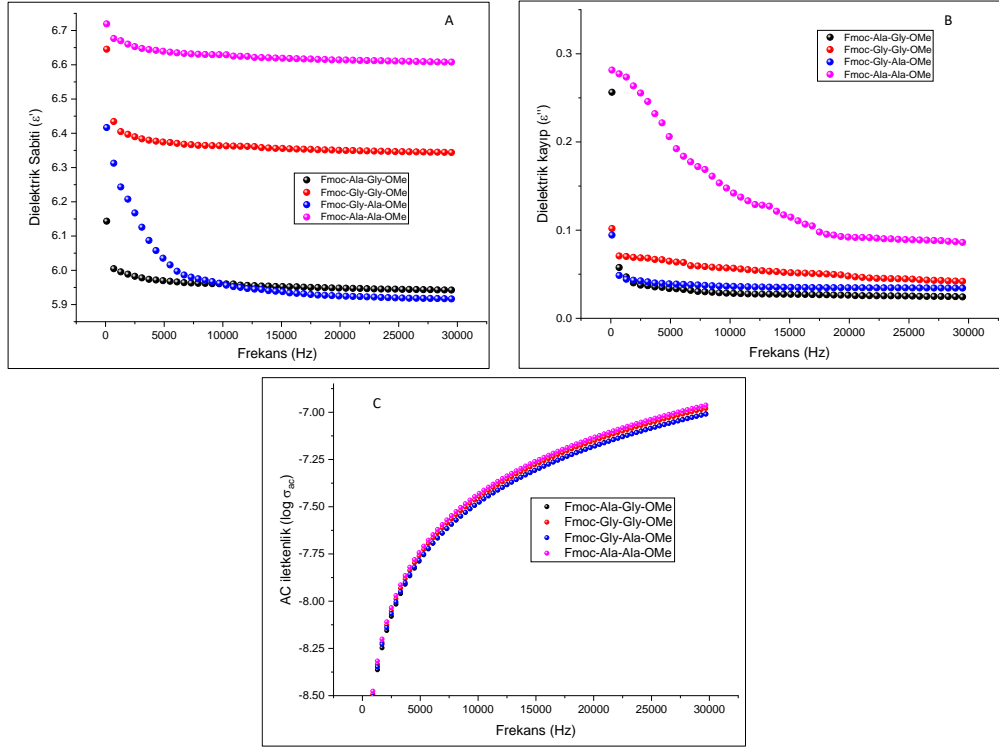
Bir devreden geçen akımın iletim kapasitesinin değişiminin bir ölçüsü olan susseptans değerlerinin frekansla değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Susseptans akım ile devrede depolanan enerjinin bir ifadesidir ve ölçümün temeli paralel kapasitansa ( $C_p$ ) dayanmaktadır (Zhang ve ark., 2007). Artan frekansla birlikte susseptans değerleri de artış göstermektedir. Bu artışın nedeninin yönelme polarizasyonunun etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Empedans, malzemeye gerilim uygulandığında bir elektrik devresinin akımın geçişine karşı gösterdiği zorluğun ölçüsüdür. Empedans Z harfi ile gösterilir ve birimi ohm( $\Omega$ )' dur (Yakuphanoglu ve ark., 2004). Empedans ölçümlerinin frekansla değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Artan frekans ile empedans değerindeki düşüş, molekül içindeki serbest hacim artışından kaynaklı artan segmental hareketliliğin verdiği hasardan kaynaklanabilir (Dinesh ve rk., 2010).

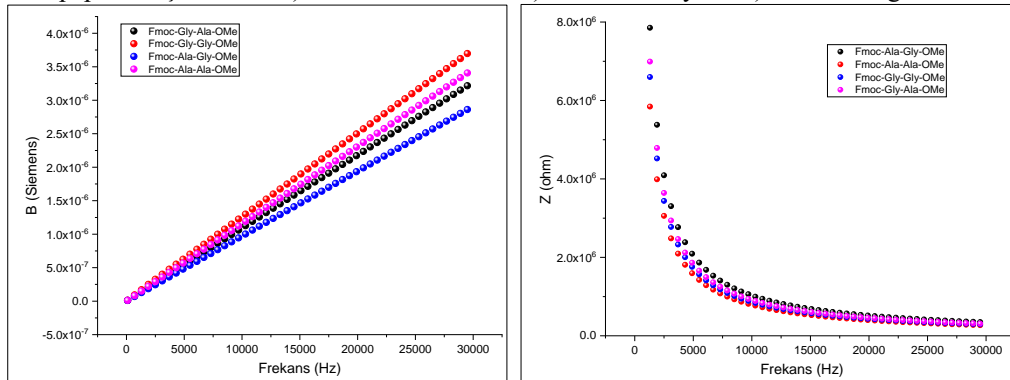


**Tablo 2.** Dipeptitlerin oda sıcaklığı ve 10 kHz'deki Dielektrik Sonuçları

Dipeptit	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\sigma_{ac}$	$\log \sigma_{ac}$
Fmoc-Ala-Ala-OMe	6.67	0.274	$4.09 \times 10^{-9}$	-8.38
Fmoc-Ala-Gly-OMe	5.99	0.491	$3.66 \times 10^{-9}$	-8.43
Fmoc-Gly-Ala-OMe	6.25	0.044	$3.80 \times 10^{-9}$	-8.41
Fmoc-Gly-Gly-OMe	6.40	0.070	$3.92 \times 10^{-9}$	-8.40



**Şekil 5.** Dipeptit bileşiklerinin A) dielektrik sabitinin B) dielektrik kaybın C) ac iletkenliğinin frekansla değişimi



**Şekil 6.** Dipeptit bileşiklerinin dielektrik sabitinin frekansla değişimi

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1011511

## SONUÇ

Bu çalışmada Fmoc grubu ile korunmuş amino asitler ile karboksilik asit ucu metil ester olan amino asitlerin reaksiyonu sonucu sentezlenen dipeptit bileşiklerinin sentezlenen termal özellikleri oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar azot atmosferinde termogravimetrik analiz yöntemiyle belirlendi. Termogramlar incelendiğinde iki aşamalı bir bozunmanın olduğu görülmektedir. Dipeptit bileşiklerinin 181 ile 200 °C arasında başlayan bozunma ile birlikte ilk basamaktaki kütle kaybının yapıda bulunan Fmoc grubunun molekülünden ayrılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dipeptitlerin yüzde elli kütle kaybına karşılık gelen sıcaklıklar birbirine oldukça yakındır. Bütün bileşiklerin yapısında ortak olan Fmoc grubu dipeptit yapılarının kütlece ortalama %45-50 sine karşılık gelmektedir. Bu sonuçlarda molekülünden ilk ayrılan grubun Fmoc olduğunu desteklemektedir.

Dipeptitlerin 1-30 kHz frekans aralığında empedans analizör cihazı ile elektriksel davranışları incelendi. Dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, suseptans ve empedans parametrelerindeki değişim frekansın bir fonksiyonu olarak araştırıldı. Dipeptitlerin dielektrik sabiti 5.99 ile 6.67 aralığında değişmektedir. Dielektrik sabiti ve Dielektrik kayıp değerlerinde düşük frekans bölgesinde artan frekansla önemli bir düşüş görülmüş ancak daha yüksek frekans bölgesinde bu düşme eğilimi azalmakta ve neredeyse sabit bir değerde kalmaktadır. Bu davranışın sebebinin malzemede oluşan arayüzey, atomik ve elektronik polarizasyonunun düşük frekans bölgesinde çok etkin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Susseptans değerleri artan frekansla birlikte de lineer bir artış göstermektedir. Bu artışın nedeni ise yönelme polarizasyonunun etkisinden kaynaklanabilir. Dipeptitlerin empedans değerleri ise artan frekans ile düşüş göstermektedir. Bu durum molekül içindeki serbest hacim artışından dolayı artan segmental hareketliliğin artmasından kaynaklanabilir. Alternatif akım iletkenliği  $3.66 \times 10^{-9}$ -  $4.09 \times 10^{-9}$  S cm<sup>-1</sup> aralığında değişen dipeptitler yalıtkan malzeme olarak ifade edilebilir. Bu tür malzemelerin düşük elektriksel iletkenlikleri ve termal özelliklerinden dolayı tıp ve farmakoloji alanındaki uygulamalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar, bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar, bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Athanasίου, V., Thimi, P., Liakopoulou, M., Arfara, F., Stavroulaki, D., Kyroglou, I., Skourtis, D., Stavropoulou, I., Christakopoulos, P., Kasimatis, M., Fragouli, P.G., and Iatrou, H. (2020). Synthesis and Characterization of the Novel N"-9-Fluorenylmethoxycarbonyl-L-Lysine N-Carboxy Anhydride. Synthesis of Well-Defined Linear and Branched Polypeptides. *Polymers*, 12, 2819.
- Amini, E., Safdari, M. S., Weise, D. R. and Fletcher, T. H. (2019). Pyrolysis kinetics of live and dead wildland vegetation from the Southern United State, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 142, 104613.
- Çalışkan, E., Koran, K., Görgülü, A.O. and Çetin A. (2020). Electrical properties of amino acid substituted novel cinnamic acid compounds. *Journal of Molecular Structure*, 1222, 128830.
- Çalışkan, E., Biryani, F., ve Koran, K. (2021). Dipeptit Kaplı Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanopartikülünün Termal ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 259-268.
- Darling, D. A. and Joema, S. E. (2020). Antibacterial activity, optical, mechanical, thermal, and dielectric properties of L-phenylalanine fumaric acid single crystals for biomedical, optoelectronic, and photonic applications. *The Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 22427–22441.
- Davies, J.S., and Hakeem, E. (1984). N-terminal substituent and side-chain influences on the chemical shifts of protons in model dipeptide systems. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, 8, 1387-1392.
- Dinesh, P., Renukappa, N.M., and Siddaramaiah. (2010). Impedance and susceptance characterization of multiwalled carbon nanotubes with high density polyethylene-carbon black nanocomposites. *Integrated Ferroelectrics*, 116, 128–136.
- Dzubeck, V., and Schneider, J.P. (2000). One-pot conversion of benzyl carbamates into fluorenylmethyl carbamates. *Tetrahedron Letters*, 41(51), 9953-9956.
- İlangovan, P., Sakvai, M. S., and Kottur A. B. (2017). Synergistic effect of functionally active methacrylate polymer and ZnO nanoparticles on optical and dielectric properties. *Materials Chemistry and Physics*, 193, 203–211.

Research article/Araştırma makalesi

DOI: 10.29132/ijpas.1011511

- Ilgaz, A., ve Perin, D. (2021). Karbon Nanotüp Katkılı Levha Kalıplama Pestilinin AC Elektriksel İletkenliğinin ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(2), 296-303.
- Gurgenc, T. and Biryant, F. (2020). Production, thermal and dielectrical properties of Ag-doped nano-strontium apatite and nano h-BN filled poly(4-(3-(2,3,4-trimethoxyphenyl) acryloyl) phenyl acrylate) composites. Journal of Polymer Research, 27, 194.
- Gong, X., Branford-White, C., Tao, L., Li, S., Quan, J., Nie, H., and Zhu, L. (2014). Preparation and characterization of a novel sodium alginate incorporated self-assembled Fmoc-FF composite hydrogel. Materials Science and Engineering C. 58, 478-486.
- Kamiński, Z. J. (1987). 2-Chloro-4,6-dimethoxy-1,3,5-triazine. A New Coupling Reagent for Peptide Synthesis. Synthesis, 10, 917-920
- Kurt, A. (2009). Thermal decomposition kinetics of poly(nButMA-b-St) diblock copolymer synthesized by ATRP. Journal of Applied Polymer Science, 114, 624.
- Kurt, A., and Kaya, E. (2010). Synthesis, characterization, and thermal degradation kinetics of the copolymer poly(4-methoxybenzyl methacrylate-co-isobornyl methacrylate). Journal of Applied Polymer Science, 115, 2359.
- Li Y., Cordovez M., and Karbhari V. M. (2003). Dielectric and mechanical characterization of processing and moisture uptake effects in E-glass/epoxy composites. Composites Part B, 34: 383- 390.
- Lydia Caroline, M., and Vasudevan, S. (2008). Growth and characterization of an organic nonlinear optical material: L-alanine aluminum nitrate, Materials Letters, 62, 2245–2248.
- Murakami, M., Hayashi, M., Tamura, N., Hashino, Y., and Ito, Y. (1996). A new water-compatible dehydrating agent DPTF. Tetrahedron Letters, 37(42), 7541-7544.
- Narayan Bhat, M. and Dharmaprakash, S. M. (2002). Growth of nonlinear optical c-glycine crystals. Journal of Crystal Growth, 236, 376–380.
- Pethrick R. A. and Hayward D. (2002). Real-time dielectric relaxation studies of dynamic polymeric systems. Progress in Polymer Science, 27, 1983-2017.
- Ramachandra Raja, C., Gokila, G., Antony Joseph, A. (2009). Growth and spectroscopic characterization of a new organic nonlinear optical crystal: L-Alaninium succinate. Spectrochimica Acta Part A, 72, 753–756.
- Ramesh Kumar, G., Gokul S. R., Mohan, R., and Jayavel, R. (2005). Growth and characterization of new nonlinear optical L-threonium acetate single crystals. Journal of Crystal Growth, 283, 193–197.
- Ramesh, M., Raju, B., Srinivas, R., Sureshbabu, V.V., Vishwanatha, T.M. and Hemantha, H.P. (2011), Characterization of N $\alpha$ -Fmoc-protected dipeptide isomers by electrospray ionization tandem mass spectrometry (ESI-MSn): effect of protecting group on fragmentation of dipeptides. Rapid Commun. Mass Spectrom., 25,1949-1958.
- Sokoto, M. A., Singh, R., Krishna, B. B., Kumar J., and Bhaskar, T. (2016). Non-isothermal kinetic study of de-oiled seed cake of African star apple (Chrosophyllum albidum) using thermogravimetry, Heliyon, 2, e00172.
- Suneetha, N. and Rajan Babu, D. (2018). Spectral, nonlinear, optical and optical limiting properties of l-phenylalanine l-phenylalaninium formate single crystal. Spectrochimica Acta Part A, 203, 147-157.
- Yakuphanoglu, F., Yoo, Y.T., and Okutan, M. (2004). An impedance spectroscopy study in poly(butylene adipate) ionomers. Annalen der Physik, 13, 559–568.
- Tao, K., Levin, A., Abramovich, L.H. and Gazit, E. (2016). Fmoc-modified amino acids and short peptides: simple bio-inspired building blocks for the fabrication of functional materials. Chemical Society Review, 45, 3935-3953.
- Zeng, S., Wu, F., Li, B., Song, X., Zheng, Y., He, G., Peng, C., and Huang, W. (2014). Synthesis, Characterization, and Evaluation of a Novel Amphiphilic Polymer RGD-PEG-Chol for Target Drug Delivery System. The Scientific World Journal, 2014, 1-10.
- Zhang, C., Li, C.J., Zhang, G., Ning, X.J., Li, C.X., Liao, H., and Coddet, C. (2007). Ionic conductivity and its temperature dependence of atmospheric plasma-sprayed yttria stabilized zirconia electrolyte. Materials Science and Engineering B, 137,24-30.

## Görüntü Sıkıştırma Algoritmalarının Performans Analizi İçin Değerlendirme Rehberi

Fırat Artuğer<sup>1\*</sup>, Fatih Özkaynak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

\*firatartuger@munzur.edu.tr , ozkaynak@firat.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 19.10.2021, Makale kabul tarihi: 22.01.2022

### Öz

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte artan görüntülerin etkili bir şekilde depolanması ve bir iletişim ağı üzerinden daha hızlı bir şekilde iletilmesi ciddi bir problem haline gelmiştir. Bu problemi çözmek için geçmişten günümüze görüntü sıkıştırma algoritmaları geliştirilmektedir. Bu algoritmaların performansını doğru bir şekilde değerlendirmek oldukça önemli bir konudur. Bu makalede, sıkıştırılmış görüntülerin kalitesini değerlendirmek için yaygın biçimde kullanılan Ortalama Kare Hatası (Mean Square Error-MSE), Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error-RMSE), Tepe Sinyal Gürültü Oranı (Peak Signal-to-Noise Ratio-PSNR), Yapı Benzerlik İndeksi Yöntemi (Structure Similarity Index Method-SSIM), Yapısal Farklılık (Structural Difference-DSSIM), Özellikler Benzerlik İndeksi Matrisi (Features Similarity Index Matrix-FSIM) yöntemleri açıklanmıştır. Çalışmanın özgün yönlerinden biri bu metriklerin kullanımını detaylandırmak için çeşitli test görüntüleri üzerinde adım adım uygulanması açıklanmış bir rehber niteliğinde olmasıdır. Görüntülerin ne kadar sıkıştırıldığını hesaplamak için ise Sıkıştırma oranı(Compression ratio-CR) ve Piksel başına düşen bit sayısı(-Bits per Pixel-Bpp) yöntemleri kullanılarak sonuçlar tartışılmış ve ileride bu konuda çalışmayı planlayan araştırmacılar için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü sıkıştırma, görüntü kalitesi, sıkıştırma miktarı

## Evaluation Guide for Performance Analysis of Image Compression Algorithms

### Abstract

With the advancement of technology, effective storage of increasing images and faster transmission over a communication network has become a serious problem. To solve this problem, image compression algorithms have been developed from past to present. It is very important to evaluate the performance of these algorithms correctly. In this article, Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Peak Signal-Noise Ratio (PSNR), Structure Similarity Index Method (SSIM), Structural Difference (DSSIM), Features Similarity Index Matrix (FSIM), which are widely used to evaluate the quality of compressed images methods are described. One of the unique aspects of the study is that it is a step-by-step guide to detail the use of these metrics on various test images. In order to calculate how much the images are compressed, the results are discussed by using the Compression ratio (CR) and the number of bits per pixel (Bpp) methods, and suggestions are made for researchers who plan to work on this subject in the future.

**Keywords:** Image compression, image quality, compression amount

### GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojilerle birlikte görüntü sayısı günden güne hızla artmaktadır. Bu görüntülerin depolanması ve ağlar üzerinden hızlı bir şekilde iletilmesi ciddi bir sorun haline gelmektedir. Bu yüzden görüntü sıkıştırma işlemi günümüzün en önemli konularından biri haline gelmiştir. Görüntü

sıkıştırma algoritmalarının görüntüyü sıkıştırırken ne kadar sıkıştırdığını ve bozduğu ölçmek için birçok teknik mevcuttur. Bu makalenin amacı bu teknikleri açıklayarak bu alana yeni başlayan araştırmacılara yardımcı olabilecek bir rehber görevi üstlenmektir.

Görüntü sıkıştırma yöntemleri temel olarak kayıplı ve kayıpsız olmak üzere iki sınıfta toplanmaktadır. Bu algoritmaların avantaj ve

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1012013

dezavantajları şekil 1’de görselleştirilmeye çalışılmıştır.

Her ne kadar kullanıcının gereksinimlerine göre tercihler değişse de yüksek oranda sıkıştırma performansı elde etmek için genellikle kayıplı sıkıştırma algoritmaları tercih edilmektedir. Ancak Kayıplı yöntemlerde, sıkıştırılmış görüntüde bazı kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar medikal, askeri ve bilgi kaybının orijinal içeriği önemli ölçüde değiştirme potansiyeli olan uygulamalarda olumsuz sonuçlar doğurabileceği için değerlendirmelerin hangi metrikler üzerinden gerçekleştirileceği kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma bu boşluğu doldurabilmek için bir değerlendirme rehberi sunmayı amaçlamaktadır. Kayıplı görüntü sıkıştırma teknikleri şunlardır:

- Ayırık kosinüs dönüşümü tabanlı
- Ayırık dalgacık dönüşümü tabanlı
- Vektör kuantalama
- Fraktal kodlama

Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT), yüksek sıkıştırma özelliğinden dolayı görüntülerin sıkıştırılması için yaygın olarak kullanılır(Kumar vd., 2020). DCT, sinyali uzaysal alandan frekans alanına dönüştürebilmektedir. DCT dönüşümünden sonra Huffman kodlama kullanılarak veriler sıkıştırılır(Bulut., 2016). Aslında, Fourier dönüşümündeki karmaşık işlemde kaçınmak için kullanılan Fourier dönüşümünün özel bir durumudur ve gerçek sayı alanında bir dönüşümdür(Yuan vd., 2020).

Dalgacık dönüşümü sinyallerin zaman-frekans analizini verirken, ayırık dalgacık dönüşümü bir Hilbert uzayı üzerinde N-boyutlu vektörlerin karmaşık dizileri olarak tanımlanır ve çok çözünürlüklü analize (MRA) ve sinyallerin alt bant ayrıştırılmasına yardımcı olur(Skodras vd., 2001).

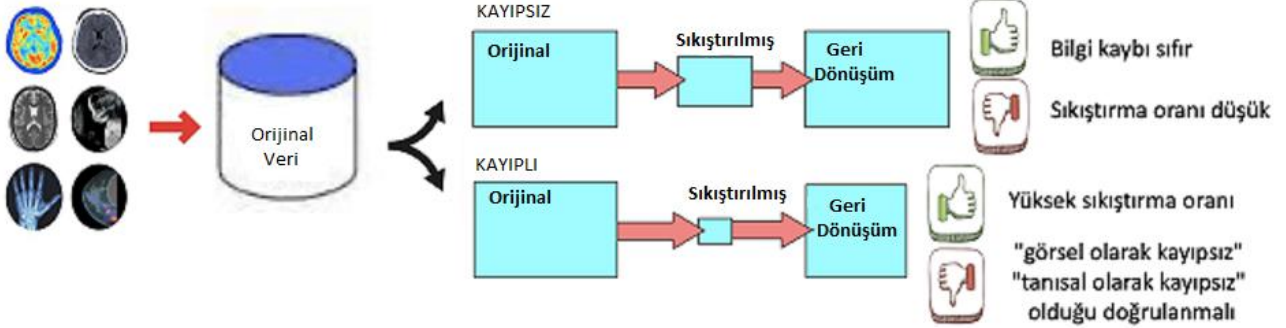
Vektör kuantalama, örneklenmiş analog verilerin (örn. konuşma, görüntüler, vb.) yaklaştırılmasına izin veren bir işlemdir. Vektör kuantalama aracılığıyla, girdi verileri vektörler olarak gösterilen bloklara bölünür ve her vektör, kod kitabı vektörlerinin statik bir sözlüğünde (kod sözcükleri olarak gösterilir) saklanan benzer (veya mümkün olduğunda eşit) bir vektörle değiştirilir(Pizzolante vd., 2017).

Fraktal kavramı, çoğu gerçek dünya nesnesindeki benzerliklere ve fazlalıklara dayanır. Fraktal kodlamanın temel fikri, etki alanı ve aralık blokları olmak üzere iki tür blok oluşturmaktır. Her aralık bloğu, en benzer olanı bulmak için tüm etki alanı

bloklarıyla karşılaştırılır. Eşleştirme işleminde fraktal RMS hatası kullanılmaktadır. Sonunda, her aralık bloğu, fraktal parametreler adı verilen dört parametre tarafından kodlanır(Ali vd., 2020).

Bu çalışmada görüntünün ne kadar sıkıştırıldığını kontrol etmek için sıkıştırma oranı(CR) ve piksel başına düşen bit sayısı (Bpp) referans alınarak açıklamalar gerçekleştirilmiştir. CR ve Bpp çoğu sıkıştırma algoritmalarının performans değerlendirmelerini gerçekleştirmek için kullanılan en genel metriklerdir. Görüntülerin kalitesini değerlendirmek için ise Ortalama Kare Hatası (MSE), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR), Yapı Benzerlik İndeksi Yöntemi (SSIM), Yapısal Farklılık (DSSIM), Özellikler Benzerlik İndeksi Matrisi (FSIM) yöntemleri açıklanmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin dışında Kontrast İyileştirme Endeksi(CII), Kaliteye bağlı kontrast ölçümü(QRCM), Mutlak ortalama parlaklık hatası (AMBE) gibi ölçütler bulunmaktadır. AMBE, çıktı ile girdi arasındaki parlaklık farkını ifade eder. Bu ölçüt aslında görüntü iyileştirmede kullanılır. Ancak, sıkıştırma sonunda parlaklık değişimi yaşanıp yaşanmadığını tespit etmek için kullanılmaktadır. CII, SSIM gibi bir korelasyon ölçütüdür. QRCM, görüntüler arasında ortaya çıkan görelî kontrast değişikliğini ve bozulmayı ölçer (Bulut., 2021).

Ortalama karesel hata (MSE), en yaygın kullanılan referans görüntü piksellerinin kare yoğunluk farkları ile hesaplanan ve bunların en yüksek sinyal-gürültü oranı (PSNR) ile ortalaması alınarak hesaplanan en basit tam referans metriğidir(Wang vd., 2004). MSE, PSNR gibi görüntü kalitesi değerlendirme metrikleri, hesaplanması basit ve optimizasyon bağlamında matematiksel olarak uygulamaya elverişli oldukları için çoğunlukla uygulanabilir. Ancak bazen görsel kaliteyi algılamak için çok uyumsuzdurlar ve ayrıca temsilde normalleştirilmezler. Bu bakış sebebiyle araştırmacılar, yapısal ve özellik benzerliklerini kullanmak için normalize edilmiş iki referans yöntemi dikkate almışlardır. Yapılandırılmış benzerlik indekisleme yöntemi (SSIM), iki görüntü arasındaki yapısal benzerliğin normalleştirilmiş ortalama değerini verir ve özellik benzerlik indekisleme yöntemi (FSIM), iki görüntü arasındaki normalleştirilmiş ortalama özellik benzerliği değerini verir(Sara vd., 2019). Bunlar, tam referanslı görüntü kalitesi ölçüm metrikleridir.



Şekil 1. Kayıplı ve kayıpsız görüntü sıkıştırma algoritmalarının avantaj ve dezavantajları

## GÖRÜNTÜ KALİTE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Bu bölümde sıkıştırılmış görüntülerin kalitesini değerlendirmek için literatürde yaygın biçimde kullanılan altı yöntemin (MSE, RMSE, PSNR, SSIM, DSSIM ve FSIM) öncelikle genel özellikleri ve hesaplamaların nasıl gerçekleştirileceği tanıtılmıştır.

### Ortalama Kare Hatası (MSE-Mean Square Error)

MSE, görüntü kalitesi ölçüm metriklerinin en yaygın kullanılanlarından. Tam bir referans metriğidir ve sıfıra yakın değerler daha iyidir. Tahmin edicinin varyansı, ortalama karesel hata ile birleştirilir. Varyans gibi hesaplanan miktarın karesi ile aynı ölçü birimlerine sahiptir. MSE, Kök-Ortalama-Kare Hatasını (RMSE) veya Kök-Ortalama-Kare Sapmasını (RMSD) tanıtır ve genellikle varyansın standart sapması olarak adlandırılır. MSE, bir tahmincinin Ortalama Kare Sapması (MSD) olarak da söylenebilir. MSE veya MSD, hataların karesinin ortalamasını ölçer. Hata, tahmin edici ile tahmin edilen sonuç arasındaki farktır. Karesi alınmış hata kaybının veya ikinci dereceden kaybın beklenen değeri göz önüne alındığında, riskin bir fonksiyonudur. MSE 'nin nasıl hesaplandığı denklem 1 'de verilmiştir.

$$MSE = e_{ms}^2 \approx (1/N^2) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N E(u_{i,j} - u_{i,j}^*)^2 \quad (1)$$

Denklem 1 'de  $u_{i,j}$  original görüntünün,  $u_{i,j}^*$  yeniden oluşturulmuş görüntünün piksel değerleridir.  $N \times N$  orijinal ve yeniden oluşturulmuş görüntünün boyutudur.

### Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE-Root Mean Square Error)

Hatanın Ortalama Kare Kökü, bir tahminci tarafından tahmin edilen değer ile gerçek değer

arasındaki farkları ölçmek için çok yaygın olarak kullanılan başka bir hata ölçüm tekniğidir. Bir değişken için farklı tahmin edicilerden tahmin hatalarının farklarını gerçekleştirmek için kullanılan mükemmel bir doğruluk ölçüsüdür. Ortalama Kare Hata Kökü aslında Ortalama Kare Hatasının kareköküdür. RMSE denklem '2 de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (2)$$

### Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR-Peak signal-to-noise ratio)

PSNR, olası maksimum sinyal gücü ile temsilinin kalitesini etkileyen bozulma gürültüsünün gücü arasındaki oranı hesaplamak için kullanılır. İki görüntü arasındaki bu oran desibel olarak hesaplanır. PSNR, sinyallerin çok geniş bir dinamik aralığa sahip olması nedeniyle genellikle desibel ölçeğinin logaritma terimi olarak hesaplanır. Bu dinamik aralık, kalitelere göre değişebilen mümkün olan en büyük ve en küçük değerler arasında değişir. Tepe sinyal-gürültü oranı, kayıplı görüntü sıkıştırma işleminde görüntülerin kalitesini ölçmek için en yaygın olarak kullanılan kalite değerlendirme tekniğidir. Sinyal, orijinal veri olarak kabul edilir ve gürültü, sıkıştırma veya bozulmadan kaynaklanan hatadır. Görüntü ve video sıkıştırma kalitesi düşüşünde, PSNR değeri 8 bit veri gösterimi için 30 ila 50 dB ve 16 bit veri için 60 ila 80 dB arasında değişir. Kablosuz iletimde, kabul edilen kalite kaybı aralığı yaklaşık 20 - 25 dB 'dir. PSNR denklem 3 'deki gibi ifade edilir.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{RMSE} \quad (3)$$

### Yapı Benzerlik İndeksi Yöntemi (SSIM-Structure Similarity Index Method)

Yapısal Benzerlik İndeksi Yöntemi, algıya dayalı bir modeldir. Bu yöntemde görüntü bozulması, yapısal bilgilerdeki algı değişikliği olarak kabul edilir. Ayrıca parlaklık maskeleyme, kontrast maskeleyme vb. gibi diğer bazı önemli algı temelli tekniklerle de benzerlik gösterir. Parlaklık maskeleyme, görüntünün bozulan kısmının görüntünün kenarlarında daha az görünür olduğu bir terimdir. Öte yandan kontrast maskeleyme, bir görüntünün dokusunda bozulmaların da daha az görünür olduğu bir terimdir. SSIM, görüntü ve videoların algılanan kalitesini tahmin eder. Kısacası orijinal ve sıkıştırılmış görüntü arasındaki benzerliği ölçer.

Çeşitli yapısal benzerlik görüntülerini farklı görüntü ölçeklerinde değerlendiren Çok Ölçekli Yapısal Benzerlik İndeksi Yöntemi (MS-SSIM) adı verilen gelişmiş bir SSIM sürümü vardır (Wang vd., 2003). MS-SSIM 'de iki görüntü aynı boyut ve çözünürlükteki ölçekle karşılaştırılır. SSIM gibi, parlaklık, kontrast ve yapıdaki değişiklik, iki görüntü arasındaki çok ölçekli yapısal benzerliği hesaplamak için kabul edilir (Dosselmann vd., 2011).

SSIM 'in başka bir versiyonu, üç bileşenli SSIM (3-SSIM) olarak adlandırılır ve şuna karşılık gelir: insan görsel sistemi, dokulu bölgelerdeki farklılıkları pürüzsüz bölgelere göre daha doğru bir şekilde gözlemler. Bu 3 bileşenli SSIM modeli, bir görüntünün kenar, doku ve pürüzsüz bölge gibi üç önemli özelliğe ayrılmaktadır. Ran ve Farvardin (Li vd., 2009) tarafından önerilmiştir. Ortaya çıkan metrik, bu üç kategori için yapısal benzerliğin ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanır. Önerilen ağırlık ölçüm tahminleri, kenarlar için 0,5, doku için 0,25 ve pürüzsüz bölgeler için 0,25'tir.

### Yapısal Farklılık (DSSIM-Structural Dissimilarity)

Yapısal Benzerlikten (SSIM) çıkarılan Yapısal Farklılık (DSSIM) olarak adlandırılan başka bir uzaklık metriği denklem 4 'deki gibi ifade edilebilir.

$$DSSIM(x, y) = \frac{1-SSIM(x, y)}{2} \quad (4)$$

SSIM indeks yöntemi; parlaklık, kontrast ve yapısal veya korelasyon terimi olarak adlandırılan üç ana terimin hesaplanmasına dayalı bir kalite ölçüm metriğidir. Bu indeks, bu üç özelliğin çarpımının bir kombinasyonudur (Brooks vd. 2008). Yapısal Benzerlik İndeksi Yöntemi bu üç terim üzerinden denklem 5 'de verildiği şekilde ifade edilebilir.

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (5)$$

Burada  $l$  parlaklık (iki görüntü arasındaki parlaklığı karşılaştırmak için kullanılır),  $c$  kontrasttır (iki görüntünün en parlak ve en karanlık bölgesi arasındaki aralıkları ayırt etmek için kullanılır) ve  $s$  yapıdır (görüntülerin benzerliğini ve farklılığını bulmak için iki görüntü arasındaki yerel parlaklık modelini karşılaştırmak için kullanılır) ve  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  pozitif sabitlerdir (Kumar vd., 2013). Bir görüntünün parlaklığı, kontrastı ve yapısı ayrı ayrı denklem 6,7,8 'deki gibi ifade edilebilir.

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (6)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (7)$$

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (8)$$

Burada  $\mu_x$  ve  $\mu_y$  yerel ortalamalar,  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  standart sapmalar ve  $\sigma_{xy}$ , herhangi iki  $x$  ve  $y$  görüntüleri için ardışık olarak çapraz kovaryanslardır. Eğer  $\alpha = \beta = \gamma = 1$  ise, bu durumda indeks, Denklemler (6)-(8) kullanılarak denklem 9 'da verildiği biçimde basitleştirilir.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_x\sigma_y + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (9)$$

Denklem 9 'dan FSIM 'in normalleştirilmiş ölçekte olduğunu görebiliriz (0 ile 1 arasındaki değerler). Bunu db ölçeğinde  $10 \log_{10}[SSIM(x, y)]$  olarak da ifade edebiliriz.

### Özellikler Benzerlik İndeksi Matrisi (FSIM-Features Similarity Index Matrix)

Özellik Benzerlik İndeksi Yöntemi, özellikleri eşler ve iki görüntü arasındaki benzerlikleri ölçer. FSIM metriğini tanımlamak için iki kriteri daha açık bir şekilde tanımlamak gerekmektedir. Bunlar: Faz Uyumluluğu (PC-Phase Congruency) ve Gradyan Büyüklüğüdür (GM-Gradient Magnitude).

Faz Uyumluluğu (PC-Phase Congruency): Görüntü özelliklerini tespit etmek için kullanılan yeni bir faz uyumudur. Faz uyumluluğunun önemli özelliklerinden biri, görüntülerdeki ışık değişimlerinden etkilenmemesidir. Etki alanı frekansında görüntünün özelliklerini vurgular.

Gradyan büyüklüğü (GM-Gradient magnitude): Görüntü gradyanının hesaplanması, dijital görüntü işlemede çok geleneksel bir konudur. Gradyanın operatörlerini ifade etmek için evrişim maskeleri kullanılmaktadır. Gradyenleri ölçmek için birçok evrişim maskesi vardır.  $f(x)$  bir görüntü ise  $G_x$ ,  $G_y$  yatay ve dikey gradyanlarıdır. O halde  $f(x)$ 'in

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1012013

gradyan büyüklüğü denklem 10 'da ki gibi tanımlanabilir.

$$\sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (10)$$

Bu yöntemde görüntülerin kalitesini değerlendirmek için iki görüntü arasındaki benzerlik hesaplanmaktadır. İki görüntü  $f_1$  (test görüntüsü) ve  $f_2$  (referans görüntü) olsun ve bunların faz uyumu sırasıyla  $PC_1$  ve  $PC_2$  ile gösterilebilir. İki görüntü  $f_1$  ve  $f_2$  'den çıkarılan Faz Uyumluluğu (PC) haritaları ve Gradyan büyüklüğü (GM) haritaları  $G_1$  ve  $G_2$  iki görüntüden de ayıklanır. FSIM,  $PC_1$ ,  $PC_2$ ,  $G_1$  ve  $G_2$  'ye göre tanımlanabilir ve hesaplanabilir. İlk başta bu iki görüntünün benzerliğini denklem 11 'de verildiği gibi hesaplayabiliriz.

$$S_{PC} = \frac{2PC_1PC_2+T_1}{PC_1^2+PC_2^2+T_1} \quad (11)$$

Burada  $T_1$ ,  $S_{PC}$  'nin kararlılığını artıran pozitif bir sabittir. Pratik olarak  $T_1$ , PC değerlerine göre hesaplanabilir. Yukarıdaki denklem, iki pozitif gerçek sayının benzerliğini belirlemek için kullanılan, aralığı ise 0 ila 1 arasındadır. Benzer şekilde,  $G_1$  ve  $G_2$  'den benzerliği denklem 12 'deki gibi hesaplayabiliriz.

$$S_G = \frac{2G_1G_2+T_2}{G_1^2+G_2^2+T_2} \quad (12)$$

Burada  $T_2$ , gradyan büyüklük değerlerinin dinamik aralığına bağlı olan pozitif bir sabittir.  $S_{PC}$  ve  $S_G$ ,  $f_1$  ve  $f_2$  'nin benzerlik  $S_L$  değerini hesaplamak için birleştirir. Bu eşitlik  $S_L$  olarak tanımlanabilir ve denklem 13 'de ki gibi elde edilebilir.

$$S_L(x) = [S_{PC}(x)]^\alpha \cdot [S_G(x)]^\beta \quad (13)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri, PC ve GM özelliklerinin önemini ayarlamak için kullanılır.

SSIM ve FSIM değerlerinin hesaplanması MSE ve PSNR değerlerinin aksine hesaplanması daha karmaşık metriklerdir. Bunun en temel sebebi MSE ve PSNR değerleri hata tabanlı yöntemlerken, SSIM ve FSIM metriklerinin benzerlik tabanlı yöntemler olmasıdır. Yani MSE ve PSNR orijinal ve sıkıştırılmış görüntü arasındaki hatayı tespit ederken, düşen bit sayısını belirtir. Ayrıca, bir görüntüdeki farklı renklerin sayısı, renk derinliğine veya piksel başına bit sayısına bağlıdır. Bpp değerine göre kaç farklı rengin kullanılacağı  $2^{bpp}$  olarak hesaplanır. Yani, farklı renklerin sayısı piksel başına bit sayısına bağlıdır. Hangi bpp değerinde kaç rengin kullanıldığı tablo 1 'de verilmiştir.

FSIM ve SSIM iki görüntü arasındaki benzerliği tespit etmektedir.

**Tablo 1.** Bpp değerine karşılık gelen renk sayısı

Bpp	Renk Sayısı
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
10	1024
16	65536
24	16.7 milyon
32	4294 milyon

## SIKIŞTIRMA MİKTARI ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Sıkıştırma miktarını hesaplamak için sıkıştırma oranı(CR) ve piksel başına düşen bit sayısı(Bpp) açıklanmıştır.

### Sıkıştırma Oranı(CR-Compression Ratio)

Sıkıştırma oranı genel olarak tüm görüntü sıkıştırma algoritmalarında kullanılacak bir metriktir. Orijinal görüntünün boyutunun sıkıştırılmış görüntünün boyutuna bölünmesiyle elde edilen oldukça basit bir metriktir(Artuğer vd., 2018). Ayrıca denklem 14 'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Sıkıştırma Oranı (CR)} = \frac{\text{Orijinal görüntünün boyutu}}{\text{Sıkıştırılmış görüntünün boyutu}} \quad (14)$$

### Piksel Başına Bit Sayısı(Bpp-Bits Per Pixel)

Bpp veya piksel başına bit sayısı, görüntü sıkıştırma algoritmasının sıkıştırma performansını ölçmek için kullanılan bir metriktir. Piksel başına

Bir görüntünün boyutu denklem 15 'de verildiği gibi hesaplanabilir. Buradaki satır ve sütun değerleri görüntünün piksel değerleridir. Ayrıca Bpp değeri denklem 16 'da verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Görüntü boyutu(bit)} = \text{satır} * \text{sütun} * \text{bpp} \quad (15)$$

$$\text{Bpp} = \frac{\text{Görüntü boyutu}}{\text{satır} * \text{sütun}} \quad (16)$$



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1012013

Bpp değerinin daha iyi anlaşılması için bir örnek yapacak olursak:

Sıkıştırılmış görüntü= 41239 bayt (512x512 piksel) olsun.

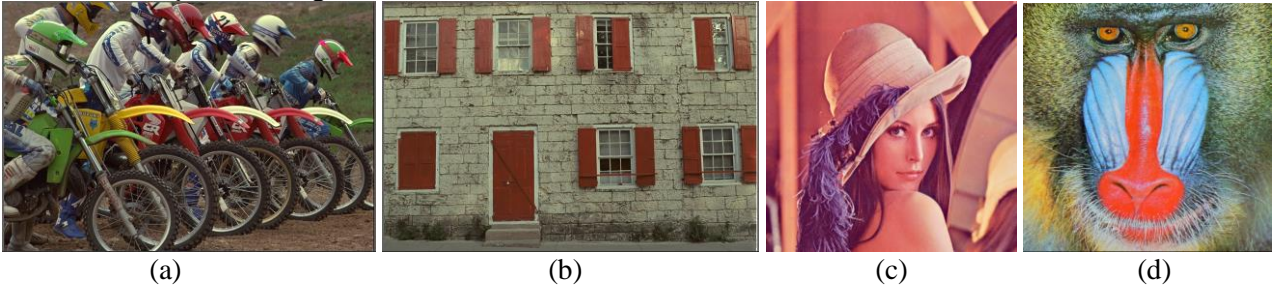
Sıkıştırılmış görüntünün bit olarak boyutu= 41239\*8(Bayt 'dan bite dönüşüm için 8 ile çarpılır.)

Bpp= 41239\*8/512\*512= 1,25 olarak hesaplanır.

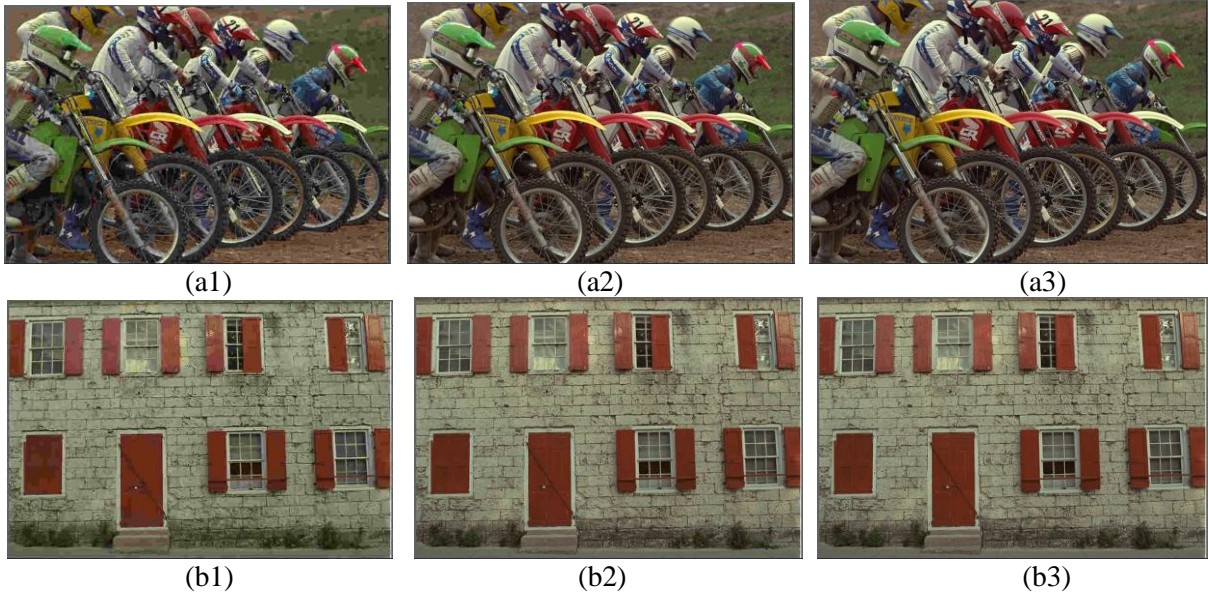
## DENEY SONUÇLARI

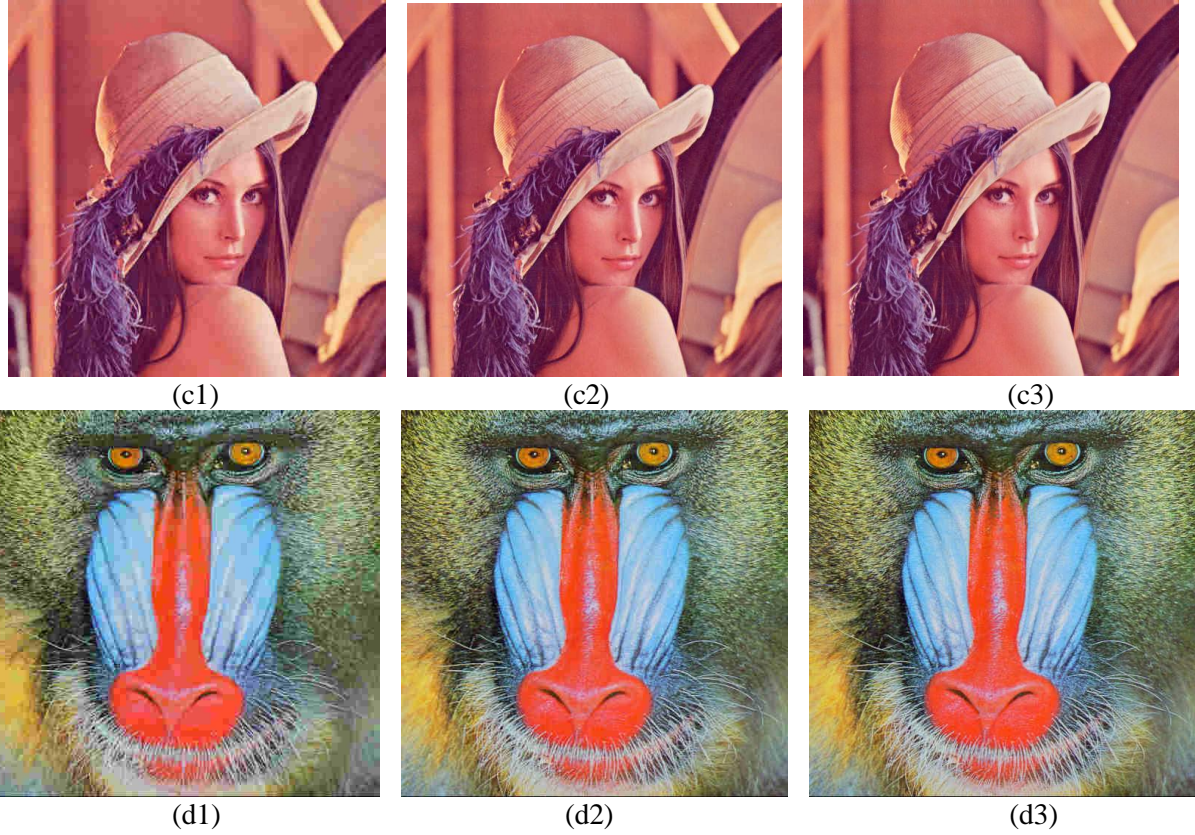
Bu çalışmada açıklanan metrikler tüm görüntü sıkıştırma algoritmaları için kullanılabilir. Ancak, görüntü sıkıştırma algoritmaları dendiğinde akla ilk gelen yöntem şüphesiz JPEG algoritmasıdır(Artuğer vd., 2018). Bu makalede örnek olması için JPEG algoritması kullanılarak dört

farklı görüntü sıkıştırılmış olup sonuçlar gözlemlenmiştir. Kullanılan orijinal görüntüler Şekil 2 'de verilmiştir. Bu orijinal görüntüler literatürde sıkça kullanılan görüntüler arasından seçilmiştir. Ayrıca a ve b olarak adlandırılan görüntüler kodak verisetinden alınmıştır. Bu görüntülerin sıkıştırılmasında sonuçların daha iyi değerlendirilip anlaşılabilmesi adına, 0.5, 1.0 ve 1.5 bpp değerleri kullanılmış olup sıkıştırılan görüntüler Şekil 3 'de verilmiştir. Sıkıştırılmış görüntüler için; CR, BPP, MSE, PSNR, SSIM değerleri hesaplanmış olup deney sonuçları tablo 2 'de verilmiştir.



Şekil 2. Orijinal Test Görüntüleri





Şekil 3. JPEG ile sıkıştırılmış görüntüler

Tablo 2. Deney Sonuçları

Orjinal Test Görüntüleri	Sıkıştırılmış Görüntüler	CR	BPP	MSE	PSNR	SSIM
(a)(767 kb)	a1	32,5	0,5	77,75	29,22	0,68
	a2	15,75	1,0	54,64	30,76	0,86
	a3	10,64	1,5	42,49	31,85	0,91
(b)(719 kb)	b1	29,96	0,5	72,16	29,55	0,68
	b2	14,76	1,0	52,29	30,95	0,85
	b3	10,01	1,5	40,6	32,05	0,9
(c)(462 kb)	c1	28,88	0,5	41,05	32	0,78
	c2	14,44	1,0	25,56	34,06	0,86
	c3	9,63	1,5	20,9	34,93	0,88
(d)(622 kb)	d1	36,59	0,5	85,97	28,79	0,56
	d2	18,85	1,0	74,94	29,38	0,72
	d3	12,69	1,5	69,74	29,7	0,78

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1012013

Tablo 2 ‘deki sonuçlarına bakıldığında sıkıştırma oranı arttıkça piksel başına düşen bit sayısının azaldığı ve görüntü kalitesinin bozulduğu görülmektedir. Ayrıca MSE değeri PSNR ve SSIM değerleriyle ters orantılıdır. Yani hata değeri büyüdükçe görüntülerin benzerliği azalmaktadır. Sonuç olarak, PSNR ve SSIM değerlerinin büyük çıkması istenirken, MSE değerinin küçük olması beklenmektedir. Bpp değeri bu çalışmada 0.5, 1.0 ve 1.5 olarak alınmıştır. Bu değerler artırılabilir ya da değiştirilebilir. Bu tamamen araştırmacıların ihtiyaçlarına göre belirleyebilecekleri bir durumdur.

## SONUÇLAR

Görüntü sıkıştırma her geçen gün artan görüntülerle birlikte günümüzün en önemli konularından biri haline gelmiştir. Bu görüntülerin verimli bir şekilde depolanmasının ve ağlar üzerinden daha hızlı iletilmesinin en etkili yolu sıkıştırma algoritmalarıdır. Bu çalışma özellikle bu alana yeni başlayacak olan kişilerin geliştirdikleri algoritmaların performansını nasıl değerlendirebilecekleri konusunda fikir vermeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda hem görüntü kalitesi değerlendirme hem de algoritmaların sıkıştırma miktarları için çeşitli yöntemler açıklanmıştır. Bu yöntemlerin daha iyi anlaşılabilmesi adına JPEG algoritması kullanılarak, literatürde en çok tercih edilen görüntüler arasından 4 farklı görüntü 3 farklı bpp değerine göre sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça piksel başına düşen bit sayısı azalır ve görüntü kalitesinde bozulmalar meydana gelir. Hata değeri(MSE) büyüdükçe görüntülerin benzerliği azalmaktadır. Yani, PSNR ve SSIM değerlerinin büyük çıkması istenirken, MSE değerinin küçük çıkması istenmektedir.

Bir çalışmada sıkıştırma miktarı için CR ve ya Bpp metriklerinden bir tanesinin kullanılması yeterlidir. Diğer yandan kalite metrikleri birden fazla kullanılabilir. Sonuç olarak, kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemleri geliştirilirken ya da mevcut yöntemlerin performansı iyileştirilirken görüntülerin sıkıştırma miktarı ve kalitesi arasındaki dengenin iyi ayarlanması gerekmektedir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Kumar, Y. S., Kumar, R., & Kumar, S. (2020, December). 2D-Discrete cosine transform based dynamically controllable image compression technique. In 2020 IEEE 22nd Electronics Packaging Technology Conference (EPTC) (pp. 203-206). IEEE.
- Bulut, F. (2016). Huffman Algoritmasıyla Kayıpsız Hızlı Metin Sıkıştırma. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 3(2).
- Yuan, Z., Liu, D., Zhang, X., & Su, Q. (2020). New image blind watermarking method based on two-dimensional discrete cosine transform. Optik, 204, 164152.
- Skodras, A., Christopoulos, C., & Ebrahimi, T. (2001). The jpeg 2000 still image compression standard. IEEE Signal processing magazine, 18(5), 36-58.
- Pizzolante, R., Carpentieri, B., & De Agostino, S. (2017). Adaptive vector quantization for lossy compression of image sequences. Algorithms, 10(2), 51.
- Ali, A. H., George, L. E., & Mokhtar, M. R. (2020). An adaptive high capacity model for secure audio communication based on fractal coding and uniform coefficient modulation. Circuits, Systems, and Signal Processing, 39(10), 5198-5225.
- Bulut, F. (2021). Low dynamic range histogram equalization (LDR-HE) via quantized Haar wavelet transform. The Visual Computer, 1-17.
- Wang, Z. and Sheikh, H.R. (2004) Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. IEEE Transactions on Image Processing, 13, No. 4. <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>
- Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR— a comparative study. Journal of Computer and Communications, 7(3), 8-18.
- Wang, Z., Simoncelli, E. P., & Bovik, A. C. (2003, November). Multiscale structural similarity for image quality assessment. In The Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, 2003 (Vol. 2, pp. 1398-1402). Ieee.
- Dosselmann, R., & Yang, X. D. (2011). A comprehensive assessment of the structural similarity index. Signal, Image and Video Processing, 5(1), 81-91.
- Li, C., & Bovik, A. C. (2009, January). Three-component weighted structural similarity index. In Image quality and system performance VI (Vol. 7242, p. 72420Q). International Society for Optics and Photonics.
- Brooks, A. C., Zhao, X., & Pappas, T. N. (2008). Structural similarity quality metrics in a coding context: exploring the space of realistic distortions. IEEE Transactions on image processing, 17(8), 1261-1273.

*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI:10.29132/ijpas.1012013




- Kumar, R., & Moyal, V. (2013). Visual image quality assessment technique using fsim. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 2(3), 250-254.
- Artuğer, F., & Özkaynak, F. (2018, September). Fractal image compression method for lossy data compression. In *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)* (pp. 1-6). IEEE.
- Artuğer, F., & Özkaynak, F. (2018). JPEG Sıkıştırma Algoritmasının Dünü Bugünü ve Geleceği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(3), 161-167.


## Finite Element Analysis of Force Distribution of Shopping Carts on Human Joints

Adil Kılınç<sup>1</sup>, Tarık Akgül<sup>1</sup>, Uğur Kemiklioğlu<sup>2\*</sup>, Ahmet Zafer Şenalp<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lille University, Faculty of Engineering, Advanced Solid Mechanics, Lille, France,

<sup>2</sup>Doğuş University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey,

adil.kilinc.etu@univ-lille.fr , tarik.akgul.etu@univ-lille.fr , \*ukemiklioglu@dogus.edu.tr ,

azsenalp@dogus.edu.tr 

Received date: 04.11.2021, Accepted date: 14.01.2022

### Abstract

Shopping carts are essential parts used in shopping. There are differences between shopping carts used today. The most prominent of these differences is that some carts have only the front two free rolling wheels, the rear two wheels are fixed rolling wheels, and some carts have four free rolling wheels. In this study, the effects of this difference in shopping carts on joints of the human body under different conditions were simulated using analysis software and the results were compared. As a result, it has been determined that European style shopping carts with four free rolling wheels need more force when going straight than other type of shopping carts with two free rolling wheels and need less force in case of rotation. In addition, when these forces are applied on the human model and gravity is neglected, it has been determined that the reaction of the joints is close to each other.

**Keywords:** Analysis, design, ergonomics, force distribution, human model

## Alışveriş Sepetlerinin İnsan Eklemleri Üzerindeki Kuvvet Dağılımının Sonlu Elemanlar Analizi

### Öz

Alışveriş sepetleri alışveriş kullanımında önemli bir özellik taşımaktadır. Günümüzde kullanılan alışveriş sepetleri arasında farklılıklar vardır. Bu farklılıkların en belirgin olanı; bazı arabaların yalnızca öndeki iki tekeri serbest döner iken, arkadaki iki tekerleğin sabit olması; bazı arabaların dört serbest döner tekerleğe sahip olmasıdır. Bu çalışmada, alışveriş sepetlerindeki bu farklılığın farklı koşullar altında insan vücudunun eklemleri üzerindeki etkileri mekanik analiz yazılımı kullanılarak simülasyonu yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; Avrupa ülkelerinde çoğunlukla kullanılan dört serbest tekerlekli alışveriş arabalarının, düz giderken, diğer iki serbest tekerlekli alışveriş arabalarına göre daha fazla kuvvete ihtiyaç duyduğu ve dönme durumunda daha az kuvvete ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu kuvvetler, yer çekimi ihmal edilerek, insan modeline uygulandığında eklemlerde meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Analiz, tasarım, ergonomi, kuvvet dağılımı, insan modeli

### INTRODUCTION

The history of shopping carts, which are frequently used in shopping today, dates to 84 years ago. In 1936, a businessman named Sylvan Goldman, who owns a supermarket chain, observed that his customers had problems transporting the products they bought while shopping and invented the folding cart carrier, which was the basis of the shopping cart, to increase sales (Terry and Wilson, 1978).

There are many types of shopping carts currently in use, but we can divide them into two: carts with 4 free-rolling wheels and 2 free-rolling wheels. In accordance with European Union standards 4-wheel free-rolling shopping carts that are used in Turkey. In the United States, shopping carts with two front wheels with free-rolling wheels and two rear wheels with fixed wheels are used. The main reason for this

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1018909

can be said to be that the markets in the USA have wide shelf spaces and the markets in Europe have narrow shelf spaces and offer less rotation space to the shopping carts (ASTM F2372 Standardization, 2021; BS EN 1929-1 Standardization, 1998).

This difference causes different force magnitudes on the user during the use of the shopping carts.

However, in some cases, it has been revealed by various studies that there are various injuries due to the use of market carts, and thus the necessity for scientists to carry out studies in this direction has arisen. As an example, in one study, falls from shopping carts and cart tip-overs is considered as 58% and 26% of injuries caused using shopping carts, respectively (Pediatrics, 2006).

To provide ease of use and to develop a more suitable shopping carts, it is necessary to examine the stress distributions that the shopping carts produced in different configurations will create at the joints of the user.

In this study, a reaction force occurs due to the friction force in the contact of the shopping carts with the ground. Resulting from this reaction; To determine the forces applied to the shoulder, elbow, leg and knee joints of the user, a 2-stage analysis plan was created.

In the first stage, the forces that must be applied to the cart (considering the technical characteristics of the computers used) to move 1 meter per second to determine the force affecting the handlebar of the cart were obtained, an analysis was simulated by determining the friction coefficients, the boundary conditions such as the weight of the cart and the load inside. The data obtained from the analysis were transferred to the second stage and applied on the human body

Many studies have been carried out on human ergonomics. While some of these studies were about determining risk factors in ergonomics (Da Silva Vieira et al., 2015; Hulshof et al., 2021), some of them were about determining the loads affecting people (Gruben and Boehm, 2012; Jones, 2009; Pinnel et al., 2019; Tsui and Pain, 2018)

Various studies have also been carried out on the design of the human model to determine human ergonomics (Jain et al., 2020; Wolf et al., 2020). Paul and Wischniewski (2012), introduced standard measurements for the digital human model. Wolf et

al. (2020) conducted a review study of digital human body measurements.

In this study, the effects of this differential in shopping carts on human joints were modelled using finite element analysis software (Ansys Workbench, 2020 R2), and the results were compared. In order to compare the force distribution of shopping carts on people, various assumptions were made such as car speed, car weight, and human weight.

## MATERIAL AND METHODS

Two different programs were used to examine the forces acting on the joints of the shopping cart user. First, a shopping cart was designed by using Solidworks software. Then this shopping cart is imported into ANSYS software, and the mesh quality is tested. Later, simplifications and improvements were made on the designed shopping cart, and a suitable model was created for analysis. A supermarket shopping cartwheel was designed to be mounted on this model, and this wheel was assembled on the designed shopping cart and its suitability for re-analysis was tested. It was determined that the prepared model was complex to obtain the results and the design was simplified.

A simple floor is designed so that the wheels of the cart can move. The final form of the design has been created by assembling the wheels, floor, and shopping cart. The design was transferred to the geometry part in the Rigid Body Dynamics analysis system in ANSYS. Structural Steel with changed density is used as the material of the created geometry.

The weight of the cart is set to approximately 22 kg. Later, a 10 kg "point mass" is defined in the basket section which represents the weight of the goods placed in the cart. To define the movement of the cart, a general joint has been defined on the handlebar. Afterwards, according to the analysis situation to be solved, the wheels, joints of the cart and the contacts between the wheels and the ground are defined. When defining the contact, the required friction values are defined. Friction values are neglected for joint connections.

Rigid Body Dynamics analysis system sets up the finite element mesh with one node per part which is sufficiently enough for a rigid dynamic analysis. As the boundary conditions, gravity and joint displacement with a movement of 1 meter per second to the created general joint are defined.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1018909

Rotation on counterclockwise direction of 90° per second was also defined for this general joint established for rotation analysis. By analyzing four different conditions, the force data required on the handlebar to move the cart 1 meter per second was obtained. The data obtained were recorded to be transferred to the static analysis system to be made on the human model, considering the action-reaction law. A human model was designed for static analysis later. The model created was transferred to ANSYS Static Structural analysis system.

Considering the properties of human bone as a material, a material named “Human Bone” was created and defined to the model. The contact and joint connections of the model are defined, friction to any joint and contact connection is not considered. Then, the mesh was created, and the quality was checked by comparing with the previously works done in literature (Elise et al., 2018).

As the boundary conditions, the maximum forces obtained in the cart analysis were applied to the hand part of the human model. By assuming that the model remains fixed, fixed support is defined on the foot bases. The data and visuals obtained by running the analysis according to four situations were recorded, and the finite element analysis part of the project was finalized.

**Rigid Body Analysis**

In the creation of rigid body analysis, it was accepted that an average of 10 kg of material was loaded into the cart during a shopping. This mass is defined as the point mass in the center of the shopping cart. The total mass of the cart is defined as approximately 22 kg. In the material selection of geometry, modified structural steel was used instead of defining a new material. Since the only property of this material that needs to be changed for this analysis is its density, only the density of the structural steel was changed, and the standard cart mass was obtained. The material properties of shopping cart were given in Table 1.

**Table 1.** Material properties of shopping cart

Density (kg/mm3)	2x10 <sup>-6</sup>
Young’s Modulus (MPa)	2x10 <sup>5</sup>
Poisson’s Ratio	0.3
Bulk Modulus (MPa)	166670
Shear Modulus (MPa)	76923
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion (1/°C)	1.2x10 <sup>-5</sup>
Compressive Yield Strength (MPa)	250

Wheel to Base joint connection with 0.1 friction coefficient was assumed for a total of four wheels. For the Handlebar rotation joint connection, the RY rotation was released during the rotation test, and the RZ rotation was released during the straight movement test.

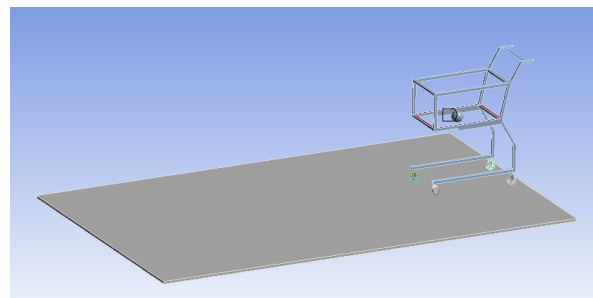
For the caster wheel joints:

Chassis to Upper Shaft joint connection was defined as a fixed connection.

Shaft to Tire joint connection, revolute joint connection type was selected.

Upper Shaft to Bracket joint connection, all wheels were set as revolute joints for the cart model with four wheels with free rolling. In the model with two free rolling wheels, a fixed joint on the rear wheels and a revolute joint on the front wheels were set.

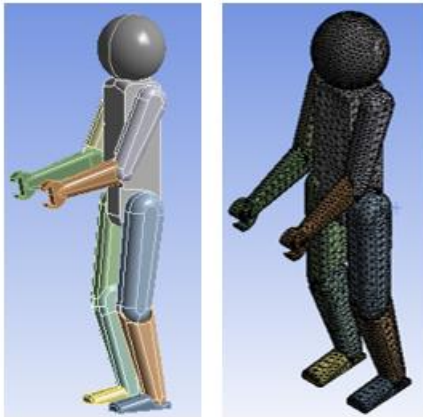
Bracket to Shaft joint connection was defined as a fixed connection. The soles of the feet are fixed to the floor to obtain the tensile forces in the joints. The model of shopping cart was shown in Figure 1.



**Figure 1.** Shopping Cart and Base structure

**Static Analysis**

In the static analysis, it was aimed to obtain the tensile forces created by the horizontal forces applied to a human hand on the elbow, shoulder, hip and knees. The mass of the human model was defined as approximately 80 kg which was seen in Figure 2.



**Figure 2.** Human model with its meshing view

A new material was defined in the material selection of the human model. A cortical bone was created as a material and its mechanical properties were described as seen in Table 2 (Carter et al., 2009; Kashan and Ali, 2019).

**Table 2.** Material properties of human model

Density (kg/mm <sup>3</sup> )	1.6x10 <sup>-6</sup>
Young's Modulus (MPa)	17000
Poisson's Ratio	0.39
Bulk Modulus (MPa)	25758
Shear Modulus (MPa)	6115.1
Compressive Ultimate Strength (MPa)	160
Compressive Yield Strength (MPa)	150
Tensile Ultimate Strength (MPa)	90
Tensile Yield Strength (MPa)	115

Foot contacts were set as bonded contacts and all other contacts were set as "No Separation". All joints were set as fixed joint.

A joint probe was defined on the handlebar to detect the forces acting on the handlebar. As not the stresses but the forces acting on human body are under consideration no additional attempt was done to improve the mesh quality of the human model.

## RESULTS AND DISCUSSION

In the study, four different cases were determined. The cases were given as follows:

Case 1: Four free rolling wheels going straight 1 meter per second,

Case 2: Two free rolling wheels two fixed wheels going straight 1 meter per second,

Case 3: Four free rolling wheels 90° rotation per second,

Case 4: Two free rolling wheels and two fixed wheels 90° rotation per second.

The analysis results of each analysis within 0.21 seconds were given in Table 3 and the results of the maximum solution time intervals of each analysis were given in Table 4, respectively.

**Table 3.** Analysis results of each analysis within 0.21 seconds

	Maximum Force Required (N)	Average Force Required (N)
Case 1	33.5	5.2
Case 2	31.4	3.7
Case 3	45.6	15
Case 4	45.5	16.8

**Table 4.** Analysis results of the maximum solution time intervals of each analysis

	Maximum Force Required (N)	Average Force Required (N)
Case 1	33.5	5.2
Case 2	31.4	4.4
Case 3	45.6	14.8
Case 4	45.5	18.7

The analysis results of human model with maximum reaction forces obtained from cart analysis when gravity included and excluded were given in Table 5 and Table 6, respectively.

**Table 5.** Analysis of human model with maximum reaction forces obtained from cart analysis when gravity included

	Case 1 Force: 33.5 (N)	Case 2 Force: 31.4 (N)	Case 3 Force: 45.6 (N)	Case 4 Force: 45.5 (N)
Elbow	51.8	51.5	54	54
Shoulder	135	135	136	136
Leg	535	535	541	541
Knee	724	724	730	730



**Table 6.** Analysis of human model with maximum reaction forces obtained from cart analysis without gravity effect

	Case 1 Force: 33.5 (N)	Case 2 Force: 31.4 (N)	Case 3 Force: 45.6 (N)	Case 4 Force: 45.5 (N)
Elbow	16.8	15.7	22.8	22.8
Shoulder	16.7	15.7	22.8	22.8
Leg	16	15	21.9	22
Knee	16	14.9	21.8	21.8

When the results of the shopping cart analysis, which is the first stage of the analysis, are examined:

It has been observed that the maximum force required to rotate the cart 90° per second is greater than the maximum force required to move it straight 1 m/s.

Among the maximum forces required to move the cart 1 m/s, it has been observed that the model with four free rolling wheels requires more force than the model with two free rolling wheels. When the maximum forces required to rotate the cart 90° per second were examined, no significant difference was observed between the four free rolling wheel model and the two free rolling wheel model.

When the results of the analyzes with different solution time intervals and the results of the first 21 milliseconds to have the same duration as the analysis with the least solution time, it was observed that there was no change in the required maximum forces.

Among the average forces required to move the cart 1 m/s, it has been observed that the model with four free rolling wheels requires more force than the model with two free rolling wheels. When the average forces required to rotate the cart 90° per second were examined, it was observed that the model with two free rolling wheels requires more force than the model with four free rolling wheels. It was understood that turning a stationary model with two wheels requires more force than a stationary model with four wheels.

When the human model analysis, which is the second stage of the analysis, is examined:

In case of the analysis results of the human model in the absence of gravity were examined, it was observed that the maximum reaction forces from the cart do not make a significant difference between the forces acting on different joints.

In the analyzes of the human model made under the effect of gravity, it has been observed that the

forces acting on the joints change depending on the weight of the limbs when each maximum force was applied to the human model. Force magnitudes increased from head to toe. This situation was in direct proportion to the distance to the applied force and the weight of the limbs.

When the maximum reaction forces obtained from the 1 m straight travel analysis of the cart and the 90° rotation analysis per second were applied to the human model, it has been observed that the reaction forces for each joint are very close.

## CONCLUSION

In this study, it was aimed to examine the force distribution of two and four wheel free rotating shopping carts on humans. According to the results and evaluations, it has been determined that European standard shopping carts with four free-rolling wheels need more force in case of going straight compared to the American standard shopping carts with two free rolling wheels, and less force in case of rotation. In addition, when these forces are applied on the human model and gravity is neglected, it has been determined that the reaction of the joints is close to each other.

## CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest relevant to this article.

## RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article. The author(s) also declared that this article is original, was prepared in accordance with international publication and research ethics, and ethical committee permission or any special permission is not required.

## REFERENCES

- ASTM F2372-15: 2021. Standard Consumer Safety Performance Specification for Shopping Carts.
- BS EN 1929-1: 1998. Basket trolleys. Requirements and tests for basket trolleys with or without a child carrying facility.
- Carter, D. R., Caler, W., Spencler, D. M. and Frankel, V. H. 2009. Fatigue Behavior of Adult Cortical Bone: The Influence of Mean Strain and Strain Range. *Acta orthop Scand*, 52, 481490.
- Da Silva Vieira, S., Badke-Schaub, P., and Fernandes, A., 2015. Framework of Awareness: for the analysis of

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1018909

- Ergonomics in Design, *Procedia Manufacturing*, 3: p. 5955-5962.
- Elise F.M., Ginu U.U., and Amira, I.H., 2018. Bone mechanical properties in healthy and diseased states, *Orthopedic and Developmental Biomechanics Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Boston University, Boston, Massachusetts 02215, USA*, p.121.
- Gruben, K.G., and Boehm, W.L., 2012. Mechanical interaction of center of pressure and force direction in the upright human, *Journal of Biomechanics*, 45: p.1661-1665.
- Hulshof, C.T.J., Pega, F., Neupane, S., Colosio, C., Daams, J.G., Kc, P., Kuijjer, P.P.F.M., Mandic-Rajcevic, S., Masci, F., van der Molen, H.F., Nygård, C.Y., Oakman, J., Proper, K.I., and Frings-Dresen, M.H.W., 2021. The effect of occupational exposure to ergonomic risk factors on osteoarthritis of hip or knee and selected other musculoskeletal diseases: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury, *Environment International*, 150: p.106349.
- Jain, B., Tony, A.R., Alphin, M.S., and Sri Krishnan, G., 2020. Analysis of upper body ergonomic parameters on commuter motorbike users, *Journal of Transport & Health*, 16: p.100826.
- Jones, J.H., 2009. The force of selection on the human life cycle, *Evolution and Human Behavior*, 30: p. 305-314.
- Kashan J.S., and Ali S.M., 2019. Modeling and simulation for mechanical behavior of modified biocomposite for scaffold application, *Ingeniería e Investigación*, 39(1), p.63-75.
- Paul, G., and Wischniewski, S., 2012. Standardization of digital human models, *Ergonomics*, 55(9): p.1115-1118.
- Pediatrics* August, 2006. 118 (2) 825-827; DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2006-1215>
- Pinnel, R.A.M., Mashouri, P., Mazara, N., Weersink, E., Brown, S.H.M., and Power, G.A., 2019. Residual force enhancement and force depression in human single muscle fibers, *Journal of Biomechanics*, 91: p.164-169.
- Terry, P. and Wilson, N., 1978. *The Cart That Changed the World: The Career of Sylvan N. Goldman*, University of Oklahoma Press, 1978, p. 135.
- Tsui, F., and Pain, M.T.G., 2018. Muscle tension increases impact force but decreases energy absorption and pain during visco-elastic impacts to human thighs, *Journal of Biomechanics*, 67: p.123-128.
- Wolf, A., Miehl, J., and Wartzack, S., 2020. Challenges in interaction modelling with digital human models – A systematic literature review of interaction modelling approaches, *Ergonomics*, 63(11): p.1442-1458.



*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI: 10.29132/ijpas.1018909

## Üst Manto Kökenli Geç Kretase Yaşlı Elazığ Magmatik Kayaçlarının Sr-Nd İzotop Bileşimi ve Petrojenetik Özellikleri

Sevcan Kürüm<sup>1\*</sup>, Ayşe Kübra Murat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeolojímühendisliği Bölümü, Elazığ

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

\*skurum@Firat.edu.tr , a.kubra.1025@gmail.com 

Makale gönderme tarihi: 16.12.2021, Makale kabul tarihi: 19.04.2022

### Öz

Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, Elazığ yakın D-GD'sunda plütonik ve volkanik kayaçlarla temsil edilir. Granit/granodiyorit ve diyorit bileşimindeki plütonik kayaçlara kıyasla, çok daha geniş yayımlı olan volkanik kayaçlar, kristal ve litik tüf bileşimli piroklastik kayaçlar ile lavlardan oluşmuştur. Piroklastik kayaçlarla ardalanmalı olarak bulunan lavlar andezit, bazalt, bazaltik andezit, spilitik bazalt, dasit ve riyolit bileşimlidir. SiO<sub>2</sub> içeriğine göre, bazikten asidik bileşime kadar değişen plütonik (48.13-73.40) ve volkanik (51.47-74.84) kayaçlar, element içerikleri bakımından birbirleriyle genel olarak uyumludur. Subalkali özellikli ve büyük iyon yarıçaplı element ve hafif nadir toprak elementler bakımından farklı oranlarda zenginleşme gösteren tüm kayaçlar Nb, Ta ve Ti bakımından belirgin negatif anomali göstermeleri ile yitimle ilişkili kayaçların jeokimyasal özelliğini yansıtmaktadır. Bu kayaçlar <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<sub>(i)</sub> (0.704170 - 0.700165) ve <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd<sub>(i)</sub> izotop (0.512669 - 0.512896) değerlerine göre tüketilmiş manto bölgesini işaret ederken, elementlerin diyagramlardaki dağılımları bu kayaçların, volkanik yay ortamında, yitim etkisi ile oluşmuş sıvılarla beraber, sediman ergiyikleri ile metasomatize edilmiş ve yitimle zenginleşmiş, litosferik kaynak kökenli ergiyikten oluştuğunu göstermektedir. Ancak tüm kayaçların değişken ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmı ergimelerine karşın, bu kayaçların kökeninde kabuksal kirlenmenin önemli etken olduğu görülür.

**Anahtar Kelimeler:** Elazığ Magmatitleri, kabuksal kirlenme, litosferik kaynak, Sr-Nd izotop jeokimyası, yitim zonu

## Sr-Nd Isotope Composition and Petrogenetic Properties of Upper Mantle Originated Late Cretaceous Elazığ Magmatic Rocks

### Abstract

Late Cretaceous aged Elazığ magmatites are represented by plutonic and volcanic rocks in the near E-SE of Elazığ. Compared to plutonic rocks in granite/granodiorite and diorite composition, volcanic rocks are much more widely distributed and consist of pyroclastic rocks with crystalline and lithic tuff composition and lavas. The lavas intercalated with pyroclastic rocks are composed of andesite, basalt, basaltic andesite, spilitic basalt, dacite and rhyolite. Plutonic (48.13-73.40) and volcanic (51.47-74.84) rocks, varying from basic to acidic in composition according to their SiO<sub>2</sub> content, are generally compatible with each other in terms of elemental content. All rocks are subalkaline and show enrichment at different rates in terms of large ion radius elements and light rare earth elements. These rocks show distinct negative anomalies in terms of Nb, Ta and Ti and reflect the geochemical characteristics of subduction-related rocks. While these rocks indicate the depleted mantle region according to the <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<sub>(i)</sub> (0.704170 - 0.700165) and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd<sub>(i)</sub> isotope values (0.512669 - 0.512896), the distributions of the elements in the diagrams indicate that these rocks are together with the liquids formed by the subduction effect in the volcanic arc environment, shows that it is composed melt of the lithospheric origin metasomatized by sediment melts and enriched by

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

subduction. However, despite the variable melting conditions and partial melting of all rocks at different rates, it is seen that crustal contamination is an important factor in the origin of these rocks.

**Keywords:** Crustal contamination, Elazığ Magmatites, lithospheric source, Sr-Nd isotope geochemistry, subduction zone

## GİRİŞ

Çalışma konusunu oluşturan Elazığ Magmatitleri, Batı Tetis Orojenik Kuşağı'nın merkez segmentlerinden biri olan Anatolid-Torid Bloğu üzerinde bulunmaktadır (Okay vd., 2006). Anatolid-Torid Bloğu, Geç Kretase-Paleosen'de Kuzey Neotetis Okyanusu'nun kapanmasından sonra, Avrasya olarak adlandırılan Laurasia'nın güney aktif kenarını oluşturmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Geç Kretase'de başlayan Güney Neotetis Okyanusu'nun kuzeye doğru yitimi, Arabistan Levhası'nın Anatolid-Torid Bloğu altına Paleojen süresince yitimi şeklinde devam etmiş (Robertson vd., 2013) ve Bitlis kenet kuşağı boyunca sonlanmıştır (Dewey vd., 1986; Robertson, 2000). Doğu Akdeniz bölgesinin yapısal evrimini oluşturan işlevlerden birisi olan, Arabistan-Avrasya kıtasal çarpışmasının Geç Eosen-Oligosen'den bu yana, olasılıkla yoğun olarak Oligosende başladığı kabul edilmektedir (Allen ve Armstrong, 2008; Karaoğlan vd., 2016; Cavazza vd., 2019). Bu çarpışma ile yitimin sonlandırıldığı, böylece Güney Neotetis okyanus levhasının dikleşmesine ve kopmasına ve/veya Orta - Doğu Anadolu'nun altındaki litosfer mantosunun delaminasyonuna yol açtığı belirtilmektedir (Keskin, 2003; 2007; Kaymakçı vd., 2010; Neill vd., 2015; Topuz vd., 2017).

Elazığ yakın D'sunda yayılım gösteren Geç Kretase yaşlı magmatitler, Perinçek (1979) tarafından doğuda Yüksekova'dan başlayıp, batıda Maraş'a kadar devam eden Yüksekova Karmaşığı'nın Elazığ bölgesindeki yayılımı olarak kabul edilmiştir. Ancak, birimin Elazığ bölgesinde genel karmaşık özelliğinden farklı olarak daha düzenli bir içyapı (litolojik özellik) oluşturduğu belirtilerek, bu bölgede Elazığ Magmatitleri olarak tanımlanmış ve benimsenmiştir (Bingöl, 1982, 1984,

1988; Turan ve Bingöl, 1991) Birim, Elazığ bölgesinde geniş yayımlı olup, lokal olarak litolojik farklılıklar gösterir. Genel olarak bazikten asidik bileşime kadar değişen plütonik kayalar yaygındır. Ayrıca bunların eşleniği olan piroklastik kayalar ile ortaç-bazik bileşimli lavlar (yastık lavlar) ve asidik-bazik bileşimli subvolkanik kayalar da bulunmaktadır. Birimin stratigrafisine de dayanarak, Neotetisin güney kolunda, okyanus içi yitim zonu üzerinde gelişen Geç Kretase yaşlı yay ürünleri olarak yorumlanması (Bingöl, 1982, 1984, Akgül, 1987; 1993; Akgül ve Bingöl, 1997; Turan vd., 1995; Bingöl ve Beyarslan, 1996; Beyarslan ve Bingöl, 1996, 2000; Beyarslan, 2005; Kürüm ve Tanyıldızı, 2017; Beyarslan ve Bingöl, 2018) genel kabul görmektedir. Ancak, Yüksekova yayının riftleşmesi ile gelişmiş yay içi volkanitler ile Santoniyen'de yayın genişlemesi ve yay kabuğunun incilmesiyle, yay ardında açılan havzada gelişmiş olduğu da önerilmektedir (Tekin vd., 2015; Ural vd., 2015). Genel olarak bu çalışmalarda bazik bileşimli kayaların toleyitik ve toleyitik-kalkalkalen geçiş karakterli, asidik intrüzif ve volkanitlerin ise kalkalkalen karakterli oldukları kabul edilmektedir.

Bu çalışma ile Elazığ yakın D'sunda yüzeyleyen ve Elazığ Magmatitlerine ait plütonik ve piroklastik kayaların petrografik ve jeokimyasal-petrolojik özellikleri belirlenmiştir. Böylece önceki çalışmalara ilave olarak, Elazığ çevresindeki bu magmatitlerin genel petrolojik özelliklerinin daha anlaşılır olması sağlanarak Elazığ çevresinde veya bölgesel ölçekte yapılacak çalışmaların yorumlanması bakımından önemli olacağı düşünülmektedir.

## Bölgesel Jeoloji

Elazığ ve çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır (Bingöl, 1984; Turan, 1993; Sungurlu vd., 1985;

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Özkul, 1988; Aksoy, 1993; İnceöz, 1994; Turan vd., 1995; Aksoy vd., 1996; Özkul ve Kerey, 1996; Turan ve Türkmen, 1996; Türkmen vd., 2001; Koçyiğit vd., 2003; Parlak vd., 2004; Okay, 2008; Çolak vd., 2012). Bu kapsamda çalışma alanındaki en belirgin tektonik yapıyı, Elazığ yakın G-GD'sundan geçen Doğu Anadolu Fay Zonu oluşturmaktadır (Şekil 1a). Stratigrafik olarak ise, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfik kayaçlarının, kuzeyde (Keban ve Pertek) ve güneyde (Kargadağ) yer yer Elazığ Magmatitleri ile tektonik dokanak oluşturması önemli tektonik unsurlardan biridir.

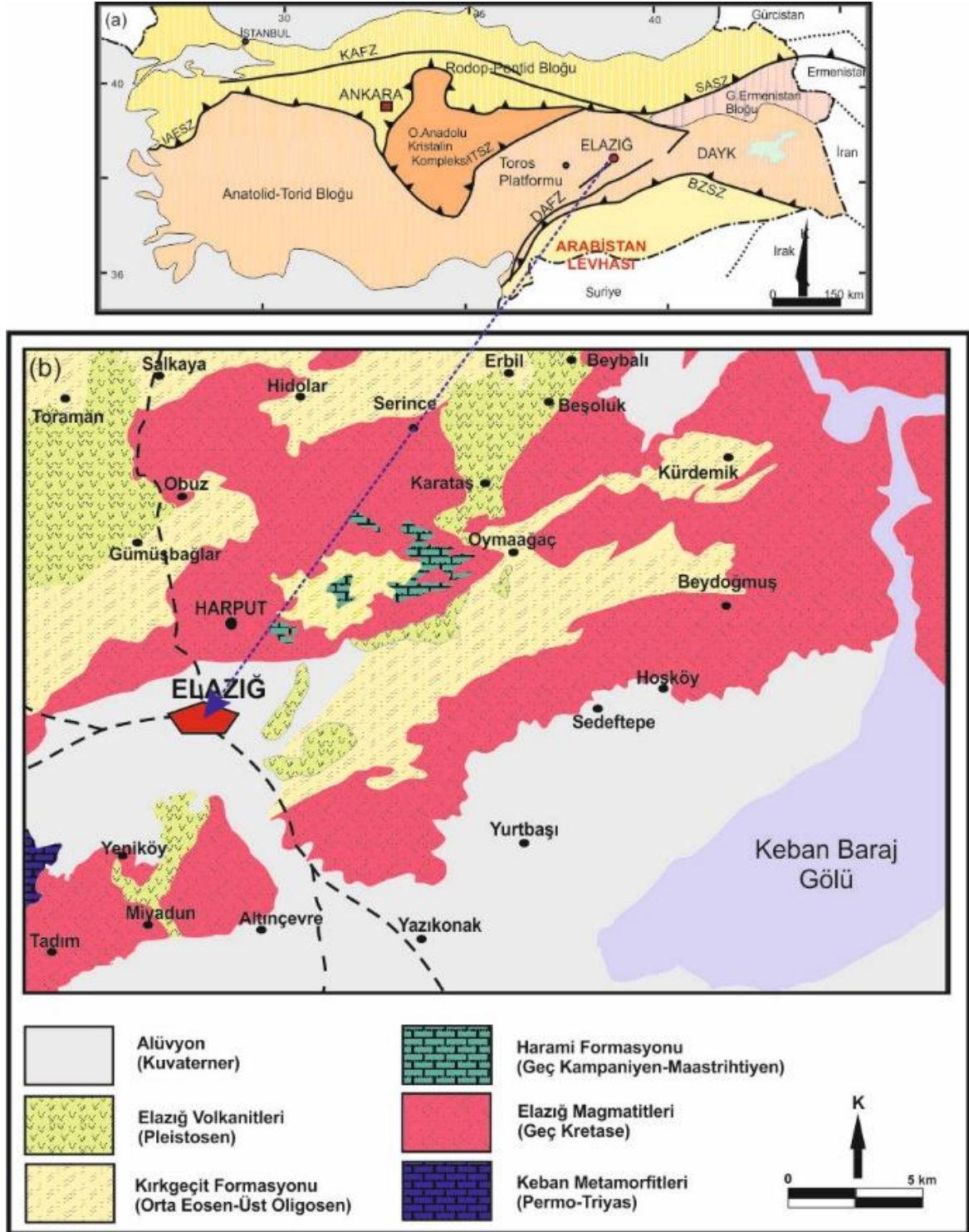
Çalışma alanında, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri (Özgül, 1976) stratigrafik olarak bölgedeki en yaşlı birimi oluşturmaktadır. Esas olarak şist ve mermerlerden oluşan birim (Herece ve Acar, 2016; Kaya, 2016), çalışma bölgesinde çok sınırlı bir alanda yüzeyleme vermektedir (Şekil 2b). Bölgedeki istif, Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri ve bu birim üzerinde bulunan geç Maastrichtiyen-Orta Paleosen yaşlı (Herece ve Acar, 2016) Harami Formasyonu ve Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu (Perinçek, 1979) ile devam edip, Pleistosen (1.7-1.9 My) yaşlı (Seyrek vd., 2008; Di Giuseppe vd., 2018) Elazığ volkanitleri ile sonlanmaktadır (Şekil 1b).

Elazığ çevresinde geniş yayımlı olan Elazığ Magmatitleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, birimin yaşının 59 - 85 my arasında geniş bir aralıkta değiştiği belirtilmektedir (Rızaoğlu vd., 2009; Kürüm, 2011; Lin vd., 2015; Beyarslan ve Bingöl, 2018). Bu geniş yaş aralığına bağlı olarak, bazik ve asidik bileşimli kayaçların (Kürüm, 2011) veya birinci ve ikinci evre olarak tanımlanan magmatizmanın (Beyarslan ve Bingöl, 2018) oluşum yaşlarının farklı olabileceği ileri sürülmektedir. Lin vd. (2015), ikinci evre kristalleşmesinin 80 ile 79 Ma arasında değişmekte olduğunu belirtirler.

Saha gözlemlerimize göre, bölgede geniş yayılım gösteren Elazığ Magmatitleri (Şekil 1b), çalışma alanında granit ve diyorit bileşimli plütonik kayaçlar ile (Şekil 2a) bazik ve andezitik bileşimli lav akıntıları ve piroklastik kayaçlar ve çok daha sınırlı olmak üzere dasit-riyolit bileşiminde bulunmaktadır. Plütonik kayaçlar içerisinde yer yer eş yaşlı mafik ve felsik magma karışımını işaret eden mafik mikrogranüler anklavlar gözlenmiştir (Şekil 2b).

Çalışma bölgesinde geniş yayımlı olan piroklastik kayaçlar ve bunlarla yer yer ardalanmalı olarak bulunan bazalt ve andezitik bileşimli lavlardan oluşan volkanik kayaçların sınır ilişkileri net değildir. Piroklastik kayaçlar, farklı boyut ve şekillerde piroklastik ile andezit-bazaltik bileşimli litik parçalardan oluşmuş volkanik breş özelliğindedir (Şekil 2c, d). Andezitik bileşimli lavlar, çok yoğun çatlaklı ve alterasyonlu, genellikle devamsız ve merceğimsi bloklar şeklinde bulunurken, bazaltik bileşimli lavlar genellikle masif yapıda daha az olarak da yastık (pillow) lavlar şeklinde bulunurlar. Genel olarak ince taneli, yoğun çatlaklı ve alterasyonlu ve dayanımsız olan yastık lavların alterasyonlanmadan dolayı günlenme yüzeyleri genellikle bordo-yeşil renkli görülmektedir (Şekil 2e). Alterasyon özelliği masif lavlarda da yaygındır. Bu nedenle genellikle topraklaşmış olarak ve yer yer de ayrışmamış bloklar/kafalar şeklinde morfoloji oluştururlar (Şekil 2f). Benzer litolojik ve morfolojik özellikler daha kahverengimsi renkte olan andezitik bileşimli kayaçlarda da görülür. Çalışma bölgesindeki asidik bileşimli kayaçlar özellikle Harput çevresinde küçük yüzeylemeler şeklinde gözlenen subvolkanik asidik kayaçlar (mikrogranit) ile temsil edilmektedir. Tüm diğer birimlerde olduğu gibi çok yoğun kırık ve çatlaklı olan kayaçların, özellikle alterasyonlanmanın yoğun

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

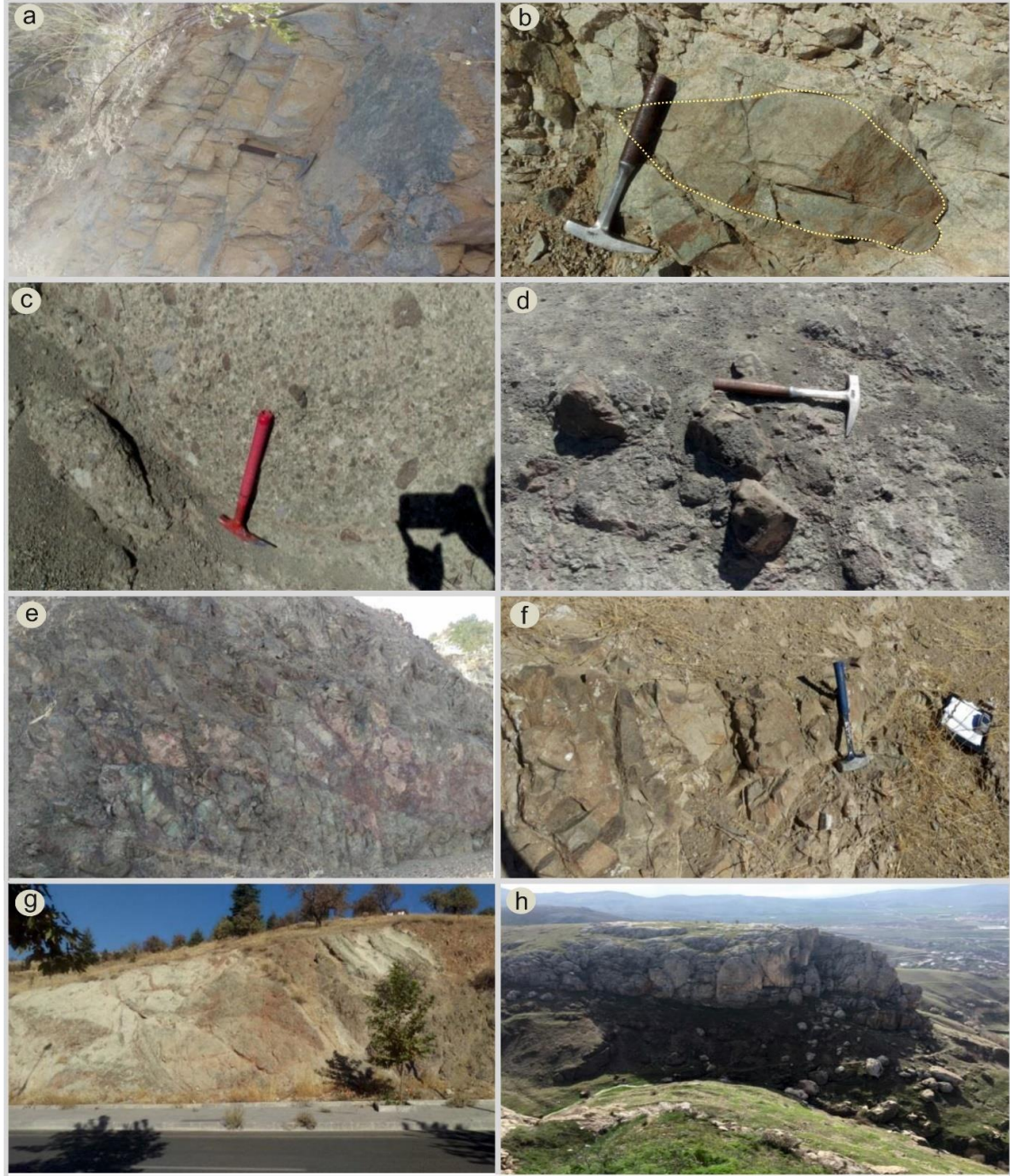


**Şekil 1.** (a) Türkiye'nin sadeleştirilmiş tektonik birimlerini gösterir harita (Okay ve Tüysüz, 1999 ve Şengör vd., 2008'den değiştirilmiştir). (b) Çalışma bölgesinin jeoloji haritası 1/100 000, K42 paftası MTA (2002)'den sadeleştirilmiştir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZSZ: Bitlis-Zagros Sütür Zonu; IAESZ: İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu, ITSZ: İç Torid Sütür Zonu, SASZ: Sevan-Akera Sütür Zonu.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

olduğu bölgelerde beyaz renkte ve toprağımsı

görünümleri dikkat çekmektedir (Şekil 2g).



**Şekil 2. (a)** Çalışma bölgesinde Bükmezra güneyinde Elazığ Magmatitlerine ait granitlerde düzenli çatlaklanma ve **(b)** plütonik kayaların içerisindeki anklavların görünümü. **(c)** Farklı boyut ve şekillerde piroklastlar ile litik parçalardan oluşmuş volkanik breş ve **(d)** Çatalçeşme Mahallesi mevkiinde andezitik bileşimli çakılların görünümü. **(e)** Hoşköyü kuzeydoğusunda günlenme yüzeyi koyu gri – bordomsu renkte olan, çok çatlaklı ve alterasyonlu bazalt-yastık lavlar ile **(f)** daha az alterasyonlu-topraklaşmamış ve kafalar şeklinde bulunan bazaltların görünümü. **(g)** Harput yol yarmasında bazik lavlarla düzensiz ilişkili ve alterasyonlu asidik sub-volkanik kayaların görünümü. **(h)** Harami Formasyonuna ait kireçtaşlarının Harput Kalesi’nden görünümü



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Elazığ Magmatikleri üzerinde bulunan geç Maastrihtiyen-Orta Paleosen yaşlı karbonatlar ve kırıntılardan oluşan (Herece ve Acar, 2016) Harami Formasyonu, Elazığ ve çevresinde geniş yüzeyleme göstermemekle beraber, bölgede en yaygın olarak Harput çevresinde görülür. Sığ şelf ortamında çökelmiş olan Harami Formasyonu, tabanda birkaç metrelik kalınlıkta olan kırmızı renkli konglomera ile başlayıp kumtaşı ve genellikle masif-kristalin kireçtaşlarıyla sonlanmaktadır. Özellikle Harput ve çevresinde Kırkgeçit Formasyonu içerisinde yaygın bir şekilde olistolitler şeklinde gözlenmektedir. Bu kireçtaşları sert ve aşınmaya karşı dayanımlı olmaları nedeniyle topoğrafyada belirli çıkıntılar oluşturmuştur (Şekil 2h).

Orta Eosen-geç Oligosen yaşlı kırıntılar ve karbonatlardan oluşan Kırkgeçit Formasyonu (Perinçek, 1979), bölgede oldukça yaygın yüzeylemeler verir (Şekil 1b). Elazığ ve çevresinde derin denizel bir ortamda çökelmiş kabul edilen birim (Turan ve Bingöl, 1991; Özkul ve Kerey, 1996; İbilioğlu, 2008), çalışma bölgesinde Yazıkonak köyü kuzeyinde, Elazığ Magmatikleri piroklastik kayaçları üzerinde yayılım göstermektedir. Bölgede bazalt, gabro, diyabaz ve sedimanter kayaç parçalarından oluşan ve boyutları değişken, genellikle yuvarlaklaşmış ve yer yer de köşeli çakıllar içeren konglomeralarla temsil edilen birimin bu özelliklerinden dolayı alttaki piroklastiklerle sınır ilişkileri yer yer çok net olarak izlenemez.

Çalışma alanındaki tüm birimler Pleyistosen (1.7-1.9 My) yaşlı ve Elazığ volkanitleri (Seyrek vd., 2008; Di Giuseppe vd., 2018) olarak tanımlanan karasal volkanitler tarafından örtülür. Bu volkanitlerin bölgede farklı çıkış merkezlerinde ve farklı patlama dinamiğinde meydana geldiği belirtilir (Kürüm vd., 2007).

## MATERYAL ve METOT

Çalışma kapsamında, araziden alınan el örneklerinden yeterli sayıda hazırlanan ince kesitler

polarizan mikroskopta ayrıntılı olarak incelenerek kayaçların petrografik özellikleri belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda jeokimya analizleri için farklı litolojileri temsil edecek şekilde 10 örnek seçilmiş ve bu örneklerin tüm kayaç (ana, iz ve nadir toprak element) analizleri ACME Analytical Laboratuvarı'nda (Kanada) yaptırılmıştır. Ana ve iz elementler ICP, nadir toprak elementler ise ICP-MS ile analiz edilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz elementler ise ppm olarak ölçülmüştür.

Seçilen 4 örneğin Sr ve Nd izotop jeokimyasal ölçümleri ODTÜ Merkez Laboratuvarları (Ankara) Radyojenik İzotop Laboratuvarında, TRITON Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi (Thermo-Fisher) ile yapılmıştır. Bu analizlerde belirsizlikler 2 sigma düzeyindedir. İzotop analizlerinin ölçümlerinde Sr için SRM-987 ve Nd standartları için LaJolla kullanılmıştır. Bu analizler sırasında Sr NBS 987 standardı  $0.710266 \pm 10$  (n = 2) ve Nd LaJolla standardı  $0.511848 \pm 2$  (n = 2)) olarak ölçülmüştür.

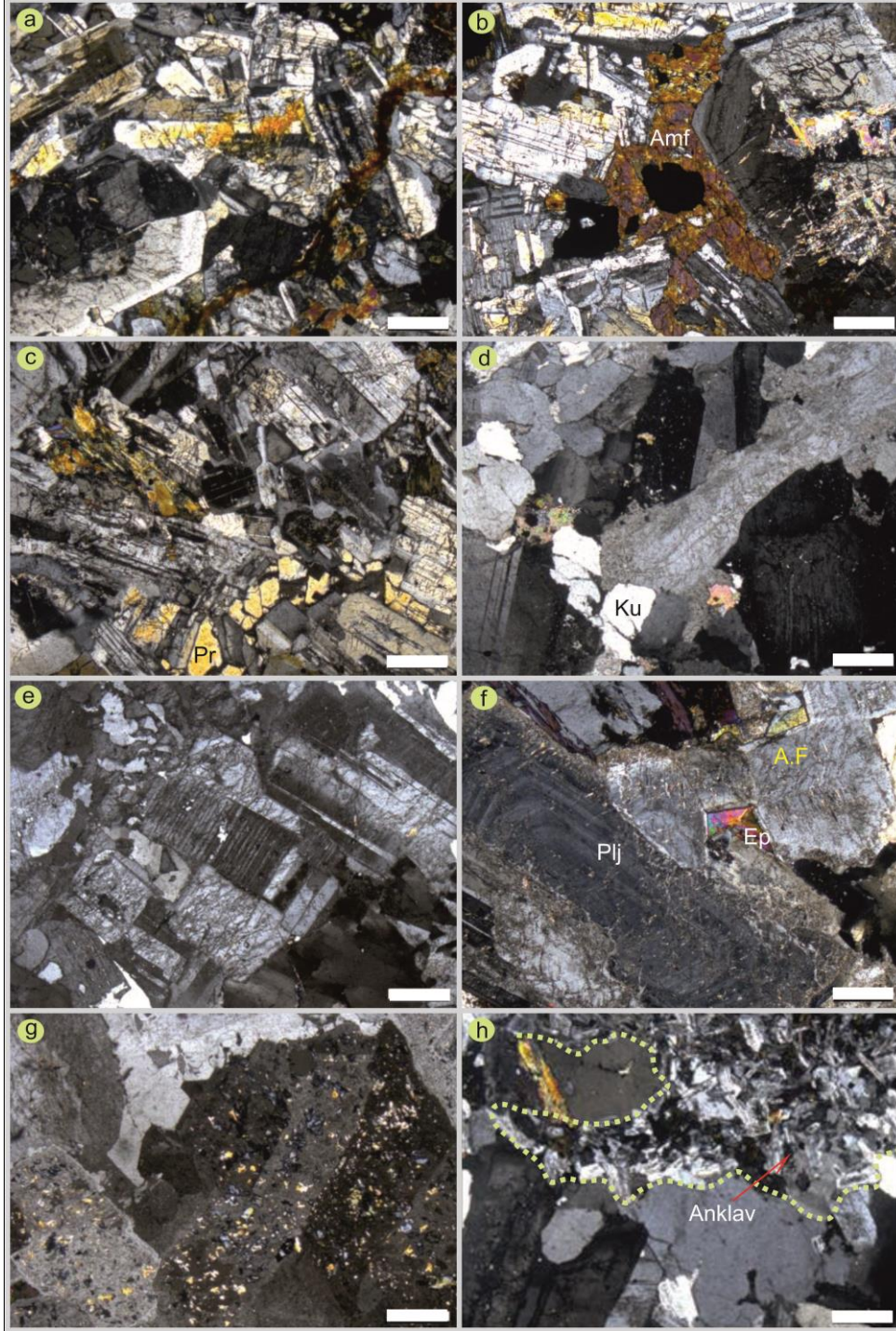
## BULGULAR

### Petrografi - Plütonik Kayaçlar

Çalışma bölgesindeki Elazığ Magmatikleri plütonik kayaçlarının granit-granodiyorit, diyorit/kuvarsdiyorit bileşimde olduğu belirlenmiştir.

Her iki kayaç grubunda da arazide yer yer yoğun kırık, çatlaklar ve çatlaklar boyunca ikincil minerallerin geliştiği gözlenmiştir. Genel olarak subofitik doku gösteren diyorit/kuvarsdiyoritlerde plajiyoklaslar genellikle zonlanma ve ikizlenme gösterirken (Şekil 3a), sönme açıları ölçümlerine göre andezin-labrador bileşiminde oldukları belirlenmiştir. Öz şekilsiz, yeşil paleokroizmalı, yer yer kloritlemiş olan hornblendler sıklıkla opak mineral kapanımları içerirler (Şekil 3b). Kuvarslar ise öz şekilsiz ve mikrofenkristaller şeklinde bulunurlar (Şekil 3c).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368



**Şekil 3.** Elazığ Magmatitleri plütonik kayalarından diyorit/ kuvarsdiyoritlerde (a) zonlanma ve ikizlenme, (b) serizitleşme gösteren plajiyoklaslar ile özşekilsiz opak mineral kapanımlı amfibol ile (c) piroksenlerin görünümü. (d) Granit-granodiyoritlerde gözlenen holokristalin-hipidyomorf taneseli doku ve kuvarsların görünümü., (e) Alkali feldispat ve kuvarsların birlikte büyümesini gösteren granofirik doku. (f) Bu kayalarda feldispatlarda gözlenen epidotlaşma. (g) Serizitleşmenin görünümü. (h) Mikrogranüler dokulu anklavın görünümü (Amf: Amfibol, Plj: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Af: Alkali feldispat) (Mikro-fotolardaki ölçek çizgileri 500 µm).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Granit-granodiyoritler genellikle holokristalin-hipidiyomorf taneseli dokudur (Şekil 3d). Granitlerde alkali feldispat ve kuvarsın birlikte büyümesini gösteren granofirik doku gözlenir (Şekil 3e). Bu kayalarda genel olarak epidotlaşma, kloritleşme, killeşme ve serizitleşme gibi ikincil oluşumlar yaygındır. Plajiyoklaslar farklı boyutlu ve kristal şekilli olup, ikizlenme ve zonlanma gösterirler. Fenokristallerde alterasyonlanma bazen tüm mineralde gelişmişken bazen de mineralin dış kısımlarında daha yoğun gözlenir (Şekil 3f). Değişik boyutlarda bulunan kuvars minerallerinde ise basınç etkisini işaret eden dalgalı sönme gözlenmektedir. Bazı kuvars kristalleri de yer yer feldispat kapanımları içerirler (Şekil 3g). Kayaç içerisindeki alkali feldispatlar da genellikle farklı boyut ve şekilli, pertileşme ve sıklıkla mineral kapanımları gösterirler. Genel olarak plajiyoklaslarda olduğu gibi alkali feldispatlarda da yer yer killeşme ile birlikte serizitleşme yaygındır (Şekil 3g).

Plütonik kayalar içerisinde yaygın olmamakla beraber anklavlar bulunmaktadır. Bunlar, mafik mikrogranüler dokulu ve kuvars diyorit bileşimindedirler (Şekil 3h). Plajiyoklas, biyotit ve kuvars bileşimli olan anklavlar genellikle taşıyıcı kayaç ile uyumlu olacak şekilde alterasyonlanma göstermektedir.

### Volkanik Kayalar

Çalışma bölgesindeki Elazığ Magmatitleri volkanik kayalarının; andezit, bazalt, bazaltik andezit, spilitik bazaltlar ve dasit-riyolitlerden oluşan lavlar ile kristal tuf, litik tuf gibi piroklastik kayalardan oluştuğu belirlenmiştir.

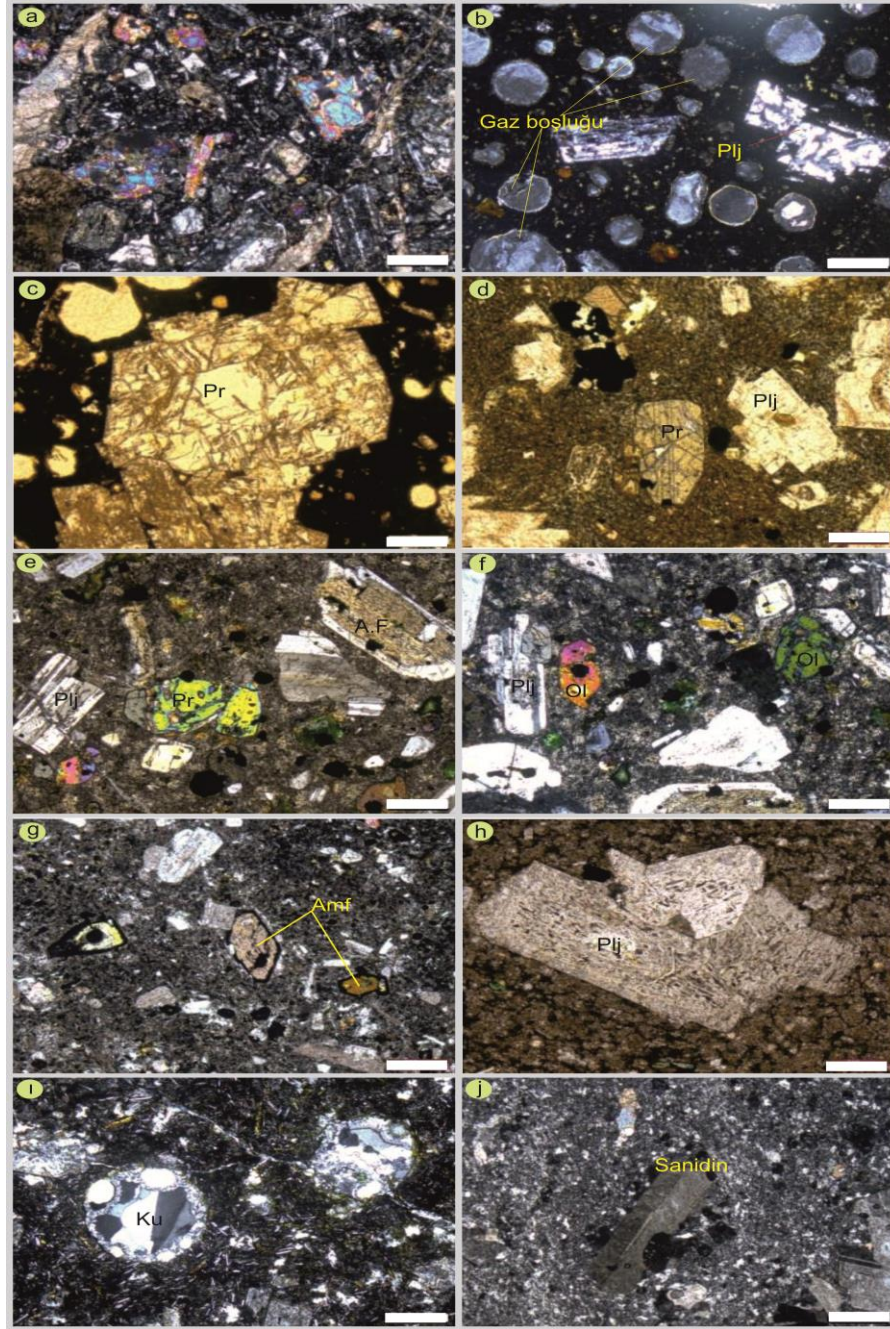
Bazaltlar: Ana mineral bileşimini plajiyoklas, piroksen ve olivin minerallerinin oluşturduğu bu kayalarda veziküler-amigdaloidal, intersental ve porfirik doku gözlenmektedir. Kayaç genelinde yaygın olan çatlak ve boşluklarda karbonatlaşma gelişmişken (Şekil 4a), tamamen yuvarlaklaşmış gaz boşluklarında gelişen kalsit ve kenarlardaki kalsedonlar ise amigdaloidal dokuyu oluşturur (Şekil 4b). Bazaltlardaki plajiyoklaslar zonlu,

ikizlenmeli ve çatlaklıdır. Kayacın dokusal özelliklerine bağlı olarak fenokristal- mikrokristal ve uzun latalar şeklinde bulunan plajiyoklaslarda, serizitleşme ve killeşme yaygındır (Şekil 4a). Bazaltik kayaların ana mafik mineral fazını oluşturan piroksenler, canlı polarizasyon renkli, yoğun kırık ve çatlaklı, genellikle dilinimlenmeli ve bazen demir zenginleşmesine işaret eden zayıf yeşil pleokroizmalıdır. (Şekil 4c).

Andezitler: Plajiyoklas, klinopiroksen, amfibol, kuvars ve opak minerallerden oluşan andezitler, dokusal çeşitlilik bakımından da oldukça zengin olup, özellikle porfirik doku (mikrokristalin porfirik, mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik) (Şekil 4d-f) ve amigdaler doku gösterirler. Genel olarak killeşme ve karbonatlaşma şeklinde yoğun alterasyonlanmanın gözleendiği bu kayalarda, gaz boşluklarında ikincil silis mineralleri (kalsedonlar) gelişmiştir. Bu ikincil mineraller yer yer okside olmuş şekilde bulunurlar. Andezitik bileşimli kayalardaki hamur malzemesi kayacı oluşturan fenokristallerin mikrolitik boyutlarından oluşmuştur. Bu mikrolitlerin bazen tamamen okside olmasından dolayı hamur malzemesi kahverengimsi renkte gözlenmektedir (Şekil 4d).

Plajiyoklaslar, kayacın ana fenokristal fazını oluşturur. Kayaçtaki fenokristaller içindeki bulunma çokluğu yaklaşık %70-80 arasında değişir. Minerallerin boyutları da fenokristal veya mikrofeno-kristal şeklinde değişkendir. Ancak genellikle özşekilli veya yarıözşekilli olarak bulunan plajiyoklaslar, yoğun olarak alterasyonludurlar. Özellikle killeşme bu minerallerde gözlenen en önemli alretasyonlanma iken yer yer de serizitleşme gözlenir. Genelde ikizlenmeli olan plajiyoklas fenokristalleri daha az olarak ta zonlanma gösterirler. Plajiyoklaslardaki alterasyonlanma kayaçtaki alterasyonlanma ile uyumludur. Alterasyonlanmanın sadece mineralde gözleendiği durumlarda, bazen mineral tamamen altere olmuş şekilde, bazen de alterasyon mineralin orta kısmı veya dış kısmında daha yoğun gelişmiştir (Şekil 4e). Yer yer erime çözünme yapıları gösteren

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368



**Şekil 4.** (a) Elazığ Magmatitleri volkanik kayalarından bazaltlarda mineraller ve dokunun genel görünümü, (b) yuvarlaklaşmış gaz boşlukları ve camsı porfirik dokuyu oluşturan plajiyoklas fenokristalleri ile iddingsitleşmiş mikrokristalin olivin minerallerinin görünümü. (c) Bazaltlarda opaklaşmış hamur içerisinde çatlaklı, alterasyonlu ve yüksek optik engebeli piroksen fenokristali (polarize ışık). Porfirik dokulu andezitik kayalarda (d) okside olmuş hamur malzemesi ile piroksen ve plajiyoklasın polarize ışıkta görünümü. (e) Feldispat ve piroksen ile (f) olivin ve (g) özşekilli kenarlarınca opaklaşmış amfibol minerallerinin görünümü. (h) Bazaltik andezitlerde bulunan plajiyoklas mineralinde erime-çözünme dokusu ile (i) spilitik bazaltlarda gözlenen amigdaler dokuyu oluşturan yuvarlaklaşmış gaz boşluklarındaki kuvars ve kalsedon minerallerinin birlikte gelişimi. (j) Dasit-riyolitlerde gözlenen mikroporfirik doku ve sanidin fenokristali görünümü (Plj: Plajiyoklas, Olv: Olivin, Amf; Amfibol, Pr; Piroksen) (Ölçek çizgileri 500 µm).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

plajiyoklaslar, yer yer piroksen ve opak mineral kapanımları içerirler (Şekil 4e). Piroksen mineralleri farklı boyutlarda, canlı polarizasyon renkli, öz-yarıöz şekillidirler. Genellikle çatlaklı olan minerallerde tek yönde dilinimlenme ve ikizlenmeler ile bu çatlaklarda gelişen alterasyonlanma gözlenir (Şekil 4c, e). Olivinler, andezitlerde mafik mineral bileşeni olarak piroksenlerden çok daha az oranda bulunur ve değişik boyutlarda, genellikle özşekilsiz ve çatlaklıdır (Şekil 4f). Andezitlerde bulunan diğer bir mafik mineral olan amfibollerin, kayaçtaki bulunma miktarı yaklaşık %3-5 oranında olup genellikle farklı şekil ve boyutlarda bulunurlar. Kahverengi pleokroizmalı olan bu mineraller kenarları boyunca opaklaşma gösterir (Şekil 4g).

**Bazaltik andezitler:** Plajiyoklas, piroksen, amfibol ve kuvars ile opak minerallerden oluşmuş ve mikroporfirik, porfirik, subofitik ve amigdaler dokular gösterir. Hamur malzemesinin ana mineral bileşiminin mikritik boyutta kristallerinden oluştuğu bu kayaçlarda killeşme, karbonatlaşma, silisleşme yaygındır. Ana mineral bileşimindeki mineralojik özellikler, diğer kayaç grupları ile benzerlik göstermektedir. Ancak bu kayaçlardaki plajiyoklaslar, yoğun alterasyonlanmayla (serizitleşme, killeşme) beraber, bazen yoğun olarak mikrolitik piroksen kapanımları ve erime çözünme yapısı gösterirler (Şekil 4h).

**Spilitik bazaltlar:** Kayacın ana bileşenini plajiyoklas, piroksen ve oksit mineralleri oluşturur. Özellikle gaz boşluklarında ve çatlaklarda gelişen ikincil oluşumlar ile beraber kayaç porfirik, amigdaler, intersertal ve varyolitik doku göstermektedir. Fenokristal bileşimi ile aynı bileşime sahip hamur malzemesini oluşturan mineraller, dokusal özelliklere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle plajiyoklas mineralleri mikrolit ve fenokristal olarak porfirik dokuyu oluşturmaktadır. Kayaçta bulunan gaz boşluklarında kuvars ve kalsedon oluşumlarının birlikte gelişimi görülmektedir. Genellikle tamamen yuvarlaklaşmış bu gaz boşluklarının kenarları mikrolitik kalsedon

minerali ile kaplanmışken, orta kısımlarda çok daha iri kristaller halinde kuvarslar gelişmiştir (Şekil 4i). **Dasit – Riyolitler:** Asidik bileşimli bu kayaçlarda genellikle porfirik ve daha az olarak sfelüritik doku gözlenmektedir (Şekil 4j). Plajiyoklas ve sanidinler hem fenokristal - mikrofeno-kristal hem de hamur malzemesini oluşturacak şekilde kayaçların ana bileşenini oluştururlar. Sanidinler tipik Karlsbat ikizlenmeli ve genel olarak özşekilli fenokristaller şeklinde bulunurken, plajiyoklaslar hamur ve fenokristal fazı olarak kayaçların ana mineral bileşenini oluştururlar (Şekil 4j). Kuvarslar ise genellikle mikrofeno-kristal ve hamur malzemesini oluşturan mikritik kristal boyutunda ve yaygın olmasa da bazı kayaçlarda çok düzgün kenarlı ve hamur malzemesi ile belirgin dokanak ilişkisi gösteren fenokristaller şeklinde bulunmaktadır.

**Piroklastik kayaçlar:** Bu kayaçlar kristal ve litik tüf özelliğindedir. Kristal tüfler; eş boy taneli, yuvarlaklaşmış veya köşeli kuvars kristalleri ile mikrokristalin plajiyoklas minerallerinden oluşmuştur. Kayaç genelinde ikincil silis oluşumları ve opak mineraller yaygındır. Litik tüfler ise çoğunlukla bazik bileşimli daha az oranda ise andezit bileşimli kayaç parçalarından oluşmuştur. Kayaç parçaları boyutları değişken olup, bazıları çok iri kristalli plajiyoklas ve piroksen içerirken, bazı kayaç parçaları ise çok daha ince plajiyoklas lataları ve fenokristallerinden oluşmuştur.

### Tüm Kayaç Jeokimyası

Çalışma bölgesindeki Elazığ Magmatitlerini temsilen 7 volkanik kayaç ile 3 plütonik kayaç örneğinin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 1ve 2'de verilmiştir.

Analizi yapılan plütonik kayaç örneklerinin (K-37, K-38, K41) SiO<sub>2</sub> içerikleri sırasıyla %48.13, 73.4, 64.71 dir. Bu örneklerin normatif mineral bileşimleri SiO<sub>2</sub> içerikleri ile uyumlu olarak değişmektedir. Örneğin kuvars içeriği K-37 örneğinde %1.62 iken diğer iki örnekte %38.42-

**Tablo 1.** Elazığ magmatik kayaların tüm-kayaç ana oksit element analizleri ve normatif mineral değerleri.

Örnek	Volkanik Kayaçlar							Plütonik Kayaçlar		
	K-1	K-14	K-17	K-21	K-22	K-33	K-35	K-37	K-38	K-41
SiO <sub>2</sub>	68.98	60.17	56.38	72.22	51.47	74.84	74.37	48.13	73.40	64.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.53	15.28	16.54	12.52	18.47	12.44	13.60	22.01	13.68	15.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.20	6.35	7.75	2.99	9.73	1.81	2.07	9.49	2.90	6.02
MgO	0.74	1.76	2.21	0.89	4.26	0.40	0.52	3.56	0.71	1.97
CaO	2.32	8.01	7.93	2.20	8.49	2.26	1.22	11.20	2.89	4.31
Na <sub>2</sub> O	3.77	3.74	4.14	4.29	3.02	3.36	6.39	2.50	3.82	4.46
K <sub>2</sub> O	1.59	0.45	0.68	0.80	0.76	1.78	0.13	0.42	1.24	0.26
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.74	0.78	0.42	0.74	0.21	0.34	0.87	0.27	0.63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.18	0.18	0.09	0.14	0.05	0.06	0.19	0.06	0.13
MnO	0.08	0.23	0.17	0.04	0.22	0.05	0.04	0.15	0.05	0.10
LOI	4.0	2.9	3.1	3.5	2.5	2.7	1.2	1.3	0.9	1.8
<b>Toplam</b>	9.90	99.87	99.84	99.94	99.80	99.95	99.96	99.83	99.94	99.89

Normatif Mineraller										
<b>Kuvars</b>	34.36	18.62	10.38	37.58	4.98	42.62	32.93	1.62	38.42	24.09
<b>Ortoklas</b>	9.40	2.66	4.02	4.73	4.49	10.52	0.77	2.48	7.33	1.54
<b>Albit</b>	31.90	31.65	35.03	36.30	25.55	28.43	54.07	21.15	32.32	37.74
<b>Anortit</b>	10.53	23.58	24.54	10.33	34.60	10.89	5.66	47.59	13.95	20.53
<b>Nefelin</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Diopsit</b>	-	12.42	11.28	-	5.41	-	-	5.52	-	-
<b>Hipersten</b>	3.94	2.70	5.37	4.07	15.20	2.24	2.51	12.84	3.81	9.03
<b>Olivin</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Magnetit</b>	4.64	9.21	11.24	4.34	14.11	2.62	3.00	13.76	4.20	8.73
<b>İlmenit</b>	0.80	1.41	1.48	0.80	1.41	0.40	0.65	1.65	0.51	1.20
<b>Apatit</b>	0.35	0.42	0.42	0.21	0.32	0.12	0.14	0.44	0.14	0.30
<b>Mg#</b>	26.82	30.50	31.11	32.06	40.95	25.93	28.50	37.28	27.95	34.14

24.09 dur. Aynı şekilde albit içeriği sırasıyla %21.15-32.32-37.74 ve anortit içerikleri ise %47.59-13.95-20.53 tür. Bu kayalardaki ortaklas oranı ise genellikle düşüktür (%2.48-7.33-1.54). Benzer şekilde diyopsit yalnız K37’de %5.52 oranında iken, olivin ve nefelin ise hiçbir örnekte bulunmamaktadır (Tablo 1). Bu üç plütonik kayaç örneğinin toplam alkali-silis diyagramında gabro, granodiyorit ve granit bileşiminde olduğu (Şekil 5a) ve bu sonuçların petrografik verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Analizi yapılan 7 volkanik kayaç örneğinin SiO<sub>2</sub> içeriği ise %51.47-74.84 arasında değişmektedir (Tablo 1). Bu örneklerin normatif mineral içerikleri de SiO<sub>2</sub> içerikleri ile uyumludur. Örneklerde nefelin ve olivin bulunmazken, oksit minerallerinden magnetit ve ilmenit bulunur ve örneklerin Mg# %25.93-40.95 arasında değişmektedir (Tablo 1). Bu volkanik kayaların toplam alkali-silis (TAS) diyagramında (Le Bas vd., 1986) subalkalen özellikli bazalt, bazaltik andezit, andezit, dasit ve riyolit bileşimli olduğu (Şekil 5b) ayrıca tüm

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

örneklerin ağırlıklı olarak toleyitik özellikli olduğu görülmektedir (Şekil 5c).

Çalışma konusu kayaçların, kristallenme süreçlerinin yorumlanmasına kaynaklık eden SiO<sub>2</sub>'ye karşı ana-iz element oksitlerden oluşan ikili diyagramlarda, genel olarak volkanik ve plütonik kayaçların birbirleriyle uyumlu oldukları

gözlenmektedir (Şekil 6). Bu diyagramlarda magmanın gelişimi esnasında oluşan fazların fraksiyonel kristallenmesine işaret eden, negatif (CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sr) ve pozitif (Na<sub>2</sub>O, Y, Zr) anomaliler ile beraber kabuksal kirlenme ve magma karışımını işaret eden düzensiz dağılımlar da (K<sub>2</sub>O, Ba, Nb, Rb) gözlenir.

**Tablo 2.** Elazığ magmatik kayaçlarının tüm-kayaç iz element analizleri ve bazı element oranları.

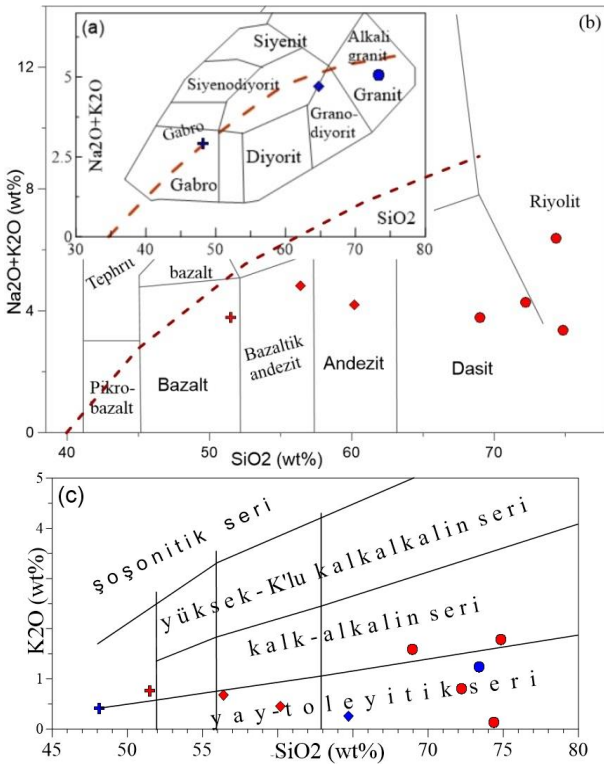
Örnek	Volkanik Kayaçlar							Plütonik Kayaçlar		
	K-1	K-14	K-17	K-21	K-22	K-33	K-35	K-37	K-38	K-41
	Dasit	Andezit	Bazaltik andezit	Riyolit	Bazalt	Riyolit	Riyolit	Gabro	Granit	Granodiyorit
SiO <sub>2</sub>	68.98	60.17	56.38	72.22	51.47	74.84	74.37	48.13	73.40	64.71
Ba	650	121	152	135	206	250	25	107	360	73
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	7	21	23	7	24	4	10	23	5	14
Be	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1
Co	3.2	11.0	18.9	4.4	25.5	1.5	3.0	20.9	3.9	9.8
Cs	0.4	0.1	0.2	<0.1	0.1	0.7	0.3	0.8	0.2	0.3
Ga	13.4	16.2	16.6	13.1	17.6	12.0	12.8	18.9	12.1	14.8
Hf	3.7	2.6	3.4	3.6	1.9	4.0	4.1	1.0	3.3	3.1
Nb	4.0	2,7	2,9	1,9	1,5	2,0	1,3	0,5	1,3	2,5
Rb	23.6	7.7	11.3	11.5	12.0	26.5	1.9	7.6	9.9	2.4
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	341	294	336	181	513	127	80	378	184	227
Ta	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	0.2	0.05	0.5	0.1	0.2
Th	6.5	3.1	3.9	1.4	1.8	2.3	0.9	0.9	2.8	2.4
U	1.3	1.0	1.4	0.3	0.8	0.9	0.4	0.2	0.9	0.7
V	32	211	219	35	230	<8	11	253	38	103
W	<0.5	<0.5	0,7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	122.4	91.1	114	112.9	67.4	130.1	128.6	37.7	118.6	98.1
Y	20.0	20.1	29.2	27.3	20.7	26.4	31.4	11.7	11.0	34.8
La	24.0	15,3	16,8	8,5	8,3	12,2	5,7	6,2	12,6	14,6
Ce	31.3	27.4	32.2	19.4	17.8	25.9	14.5	12.4	22.6	30.7
Pr	4.62	3.47	4.22	2.83	2.37	3.39	2.2	1.61	2.65	4.05
Nd	17.4	14.2	18.2	12.4	10.9	14.2	10.9	7.7	10.0	16.7
Sm	3.34	3.24	4.18	3.32	2.69	3.23	3.4	1.92	1.86	4.18
Eu	1.08	1.02	1.3	0.95	0.98	0.84	0.89	0.87	0.65	1.0
Gd	3.49	3.48	4.54	3.96	3.47	3.48	4.3	2.1	1.82	4.96
Tb	0.56	0.57	0.75	0.71	0.6	0.63	0.8	0.36	0.28	0.86
Dy	3.34	3.65	4.56	4.67	3.49	4.21	5.33	2.06	1.74	5.48
Ho	0.7	0.81	1.04	1.09	0.85	0.97	1.26	0.47	0.36	1.25
Er	2.18	2.34	3.2	3.15	2.38	3.06	3.87	1.41	1.21	3.95
Tm	0.3	0.34	0.47	0.47	0.36	0.48	0.6	0.19	0.19	0.56
Yb	1.8	2.31	3.1	3.21	2.38	3.39	4.1	1.23	1.34	3.97
Lu	0.3	0.38	0.49	0.54	0.37	0.57	0.72	0.19	0.25	0.63
Zr/Y	1.34	1.04	2.69	1.93	1.40	1.10	2.69	2.01	1.04	0.94
Zr/Nb	30.60	33.74	39.31	59.42	44.93	65.05	98.92	75.40	91.23	39.24

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Elazığ Magmatitlerine ait volkanik ve plütonik kayaların iz elementleri ilksel manto değerlerine göre normalize edildiğinde (Sun ve MacDonough,1989) her iki kayaç örneklerinin de benzer dağılımlı olduğu görülür (Şekil 7). Plütonik kayalarda büyük iyon yarıçaplı elementler (BİYE), yüksek çekim alanlı elementlere (YÇAE) kıyasla görece olarak daha zenginleşmişken, Nb ve Ta tüm plütoniklerde, Ti elementi ise granodiyorit ve granitlerde negatif anomali göstermektedir (Şekil 7a). Nb ve Ta elementlerinde gözlenen negatif anomali, bu kayaların ana magmasının gelişiminde yitim bileşeninin etkili olduğunun işareti olarak kabul edilmektedir (Pearce, 1983). Plütonik kayalarda element dağılımları genel olarak benzer davranış göstermelerine rağmen, diyorit örneğinde Th, U, Nb, Hf ve Zr elementlerinin granitlere göre belirgin şekilde tüketilmeleri, buna karşılık Cs ve Sr

gibi BİYE'ce daha zenginleşmiş olduğu gözlenmektedir. Sr elementindeki pozitif anomali bu kayalarda plajiyoklas fraksiyonlaşmasına işaret edebilir. Volkanik kayaç örnekleri de plütonik kayalarla benzer dağılımlı olup, bu örneklerde de Nb, Ta ve Ti elementlerinde negatif anomali belirgindir (Şekil 7b). Her iki grup kayaç örneklerinde BİYE'lerde (Rb, Ba, Th, K) zenginleşme yitim sürecinde dalan levhadan ayrılan elementlerin mantoda zenginleşmesiyle açıklanmaktadır (Class vd., 2000; Elburg vd., 2002; Oyan, 2018; ). Bu örnekler Okyanus Ada Bazaltları (OAB) ile Üst Kıtasal Kabuk (ÜKK) ve Alt Kıtasal Kabuk (AKK) ortalama değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Diyagramda plütonik ve volkanik kayaç örneklerinin tüm element dağılımları alt kıtasal kabuk magmatizması ile daha uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7a, b).

Kondrit'e göre (Sun ve McDonough, 1989) normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımlarında tüm örneklerin, uyumsuzluk oranına bağlı olarak, ağır nadir toprak elementlere kıyasla (ANTE), hafif nadir toprak elementlerce (HNTE) daha fazla zenginleştiği gözlenmektedir (Şekil 7c, d). Diyagramlarda her iki kayaç grubunun yönsemelerinin birbirine paralel olması bu kayaların aynı/benzer magma kaynaklı veya farklılaşma süreçlerine sahip olduğuna işaret edebilir. Ayrıca tüm kayaların alt kıtasal kabuk verileriyle çok daha uyumlu olduğu gözlenmektedir.



Şekil 5. Plütonik (a) (Cox vd., 1979) ve volkanik kayaların (b) toplam alkali-silis (TAS) diyagramı (Le Maitre et al., 1989) ile (c) SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O (Peccerillo and Taylor, 1976) diyagramında sınıflandırılması. Alkali-subalkali ayrımı Miyashiro (1978)'e göre.

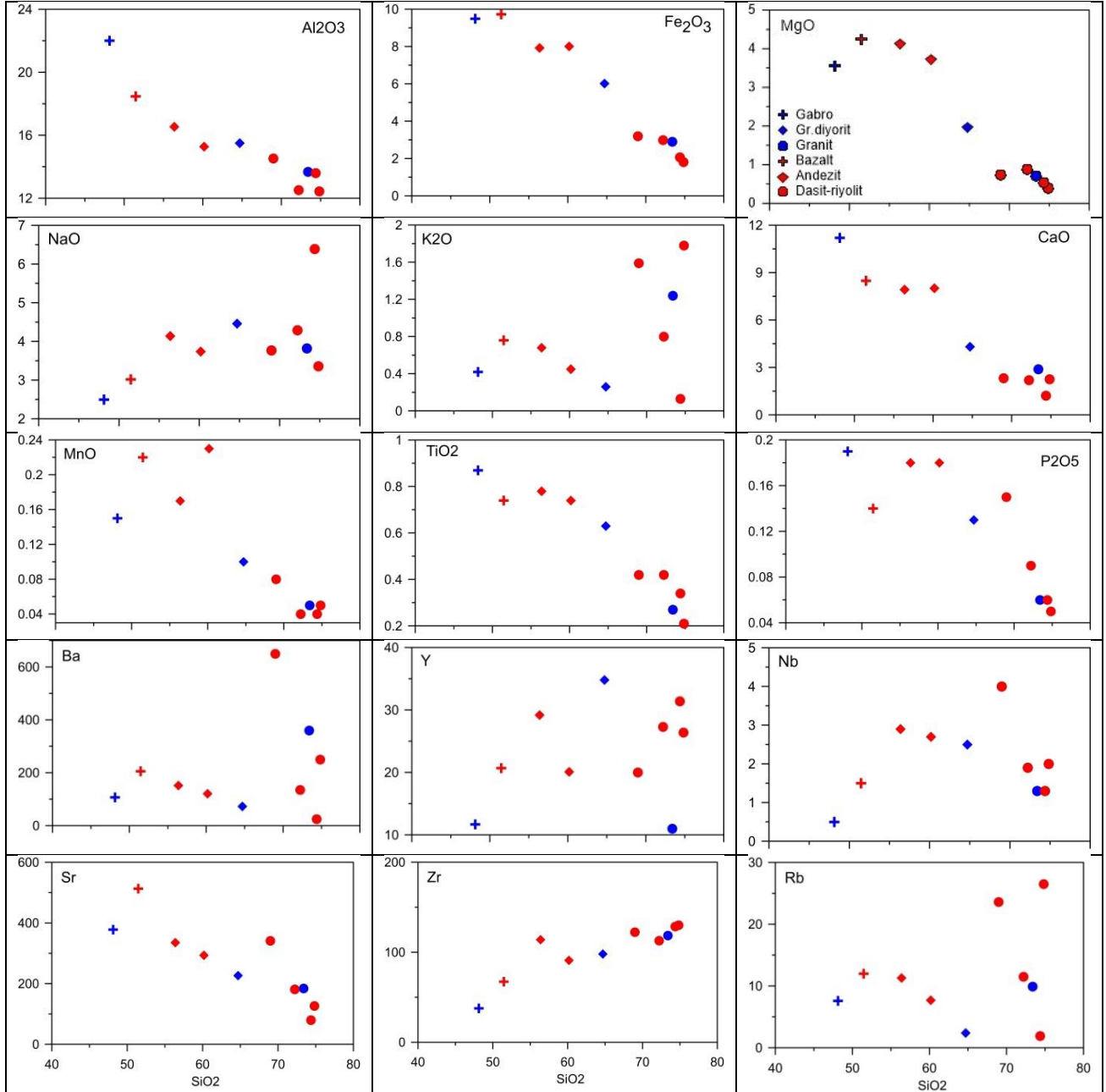
### İzotop Jeokimyası

İncelenen magmatitlerden 3 volkanik ve 1 plütonik kayaç örneğinde Sr-Nd izotop analizi yapılmıştır. Tablo 3'de verilen sonuçlarda görüldüğü gibi andezit, bazalt, riyolit ve granit bileşimindeki bu kayaların Nd element değerleri birbirine yakın iken, Sr element değerleri görece olarak daha farklı dağılım gösterir. Riyolit ve granit bileşiminde de bu farklılık belirgindir. İncelenen kayalar için Üst Senomaniyen-geç Maastrichtiyen yaş aralığı verildiğinden (Rızaoğlu vd., 2009; Kürüm, 2011; Lin vd., 2015; Tekin vd., 2015; Beyarslan ve



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Bingöl, 2018), ilksel Sr-Nd izotop bileşimleri 80 My düşük andezit ve 0,705165 (K22) ile en yüksek olan yaş referans alınarak hesaplanmıştır. Buna göre bazaltın izotop bileşimi arasında değişmektedir.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  izotop bileşimi 0,704170 (K14) ile en

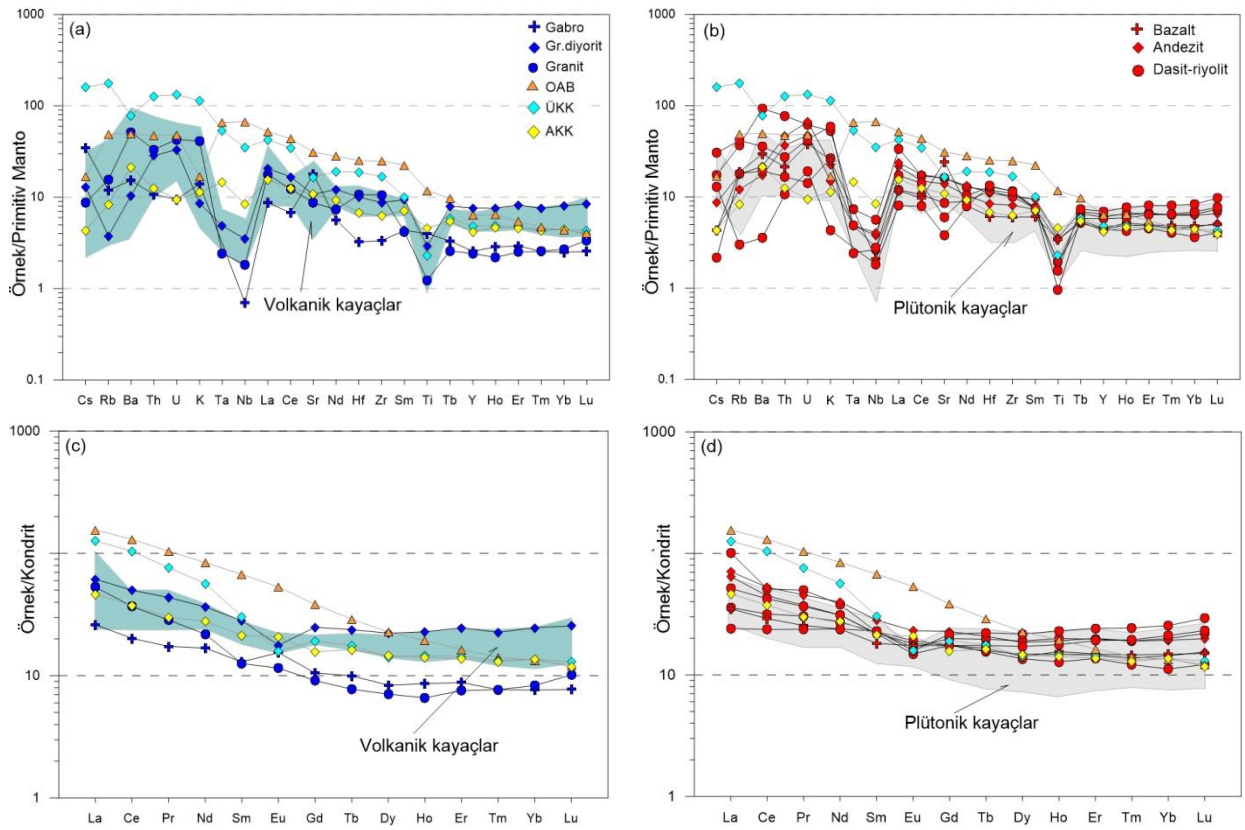


Şekil 6. Elazığ Magmatitlerine ait plütönik ve volkanik kayalara ait ana oksit ve bazı iz elementlerin  $\text{SiO}_2$ 'e göre değişimini gösteren Harker diyagramları.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$  izotop bileşimi ise 0,512669 - 0,512896 ile sırasıyla riyoilit-bazalt (K33-K22) arasında,  $\epsilon\text{Nd}_{(80\text{ My})}$  bileşimleri ise -0.47 (andezit) – 6.24 (granit) arasında değişmektedir (Tablo 3). Sr-Nd izotop verilerinin, izotop korelasyon diyagramında (Şekil 8a) manto alanında ancak toplam yerküre alanına yakın konumlandıkları

görülmektedir. Kayaçların benzer dağılım göstermesi benzer kökeni işaret ettiği gibi magmada fraksiyonel kristalleşme devam ederken, aynı zamanda kabuksal kayaçların etkili olduğu (Taylor, 1980; De Paolo, 1981) asimilasyon-kontaminasyona da işaret etmektedir.



Şekil 7. Elazığ Magmatitleri plütonik ve volkanik kayaçlarının ilksel manto (a) ve (b) ile kondirite göre (c), (d) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları (normalize değerler Sun and McDonough, 1989). OAB: Okyanus ada bazaltları, ÜKK: Üst kıtasal kabuk, AKK: Alt kıtasal kabuk (Weaver and Tarney, 1984)

Tablo 3. Elazığ Magmatitlerinin Sr ve Nd izotop analiz sonuçları.

Örnek No	Kayaç	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$	Nd (ppm)	Sm (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$	$\epsilon\text{Nd}$
K14	Andezit	7.7	293.6	0.704256	0.7041697	14.2	3.24	0.512511	0.512798	-0.47
K22	Bazalt	12.0	513.1	0.705242	0.7051650	10.9	2.69	0.512654	0.512896	2.32
K33	Riyoilit	26.5	126.7	0.704965	0.7042768	14.2	3.23	0.512753	0.512669	4.25
K38	Granit	9.9	184.4	0.704562	0.7043853	10.0	1.86	0.512855	0.512855	6.24

## TARTIŞMA

### Tektonik Ortam ve Kaynak Magma

Elazığ Magmatitlerinin I-tipi, orta-yüksek-K'lu ve subalkalen karakterli olduğu (Şekil 5) ve bu kayaların köken magmalarının, yitim ile ilişki tektonik ortamların jeokimyasal özelliğini yansıttığı görülmektedir.

Önceki çalışmalarda Elazığ Magmatitleri'nin yitim ile ilişkili olarak yerleştiği belirlenmiştir (Pearce vd., 1990; Kürüm vd., 2011; Sar, 2016; Ural vd., 2015; Kürüm ve Tanyıldızı, 2017; Beyarslan ve Bingöl, 2018). Yitimle ilişkili kayaların olası kaynak magmasının oluşumunda, manto kaması veya yiten okyanus kabuğun kısmi ergimesi (Patino Douce ve Beard, 1995; Pearce vd., 1995) ile alt kabuğun katkısının etken olduğu ileri sürülür (Pearce 1983; Pearce ve Peate 1995). Bu amaçla magma-tektonik ortamını belirlemek için plütonik kayalar için geliştirilen ayırım diyagramları kullanılmıştır (Şekil 8 ve 9). Örnekler Rb-(Y+Nb) (Pearce vd., 1984) diyagramında (Şekil 8b) volkanik yay granitoidleri alanında yoğunlaşırken, benzer dağılımı (Nb/Zr)<sub>N</sub>-Zr (Thieblemont and Tegye 1994) diyagramında da gösterirler (Şekil 8c).

Diyagramlarda örneklerin kıtasal kenar yay alanında bulunmaları bu magmatizmanın volkanik yay ile ilişkili olduğunu gösterir. Bu diyagramlarda bazı örneklerin farklı alanlarda yer alması hareketli elementlerdeki alterasyona bağlı olarak meydana gelen değişiklikten kaynaklanabilir.

Volkanik yay magmatizmasında K ve Ta arasındaki farklılığın belirleyici olduğu ve MORB'da K/Ta oranının daima yaklaşık sabit olmasına karşın, sulu bir sıvıda K'nın Ta'ya göre daha büyük hareketliliği ve buna bağlı olarak volkanik yay- bazaltlarında K'un dolayısıyla Th'un her zaman yüksek olacağı anlamına gelir (Pearce, 1982). Buna göre örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramında, çoğunlukla aktif kıta kenarı alanında yoğunlaşmasına karşın bazı örneklerin volkanik yay bazaltları alanında yoğunlaşması, ortamdaki sulu ergiyik/yitim etkisine işaret etmektedir (Şekil 8d).

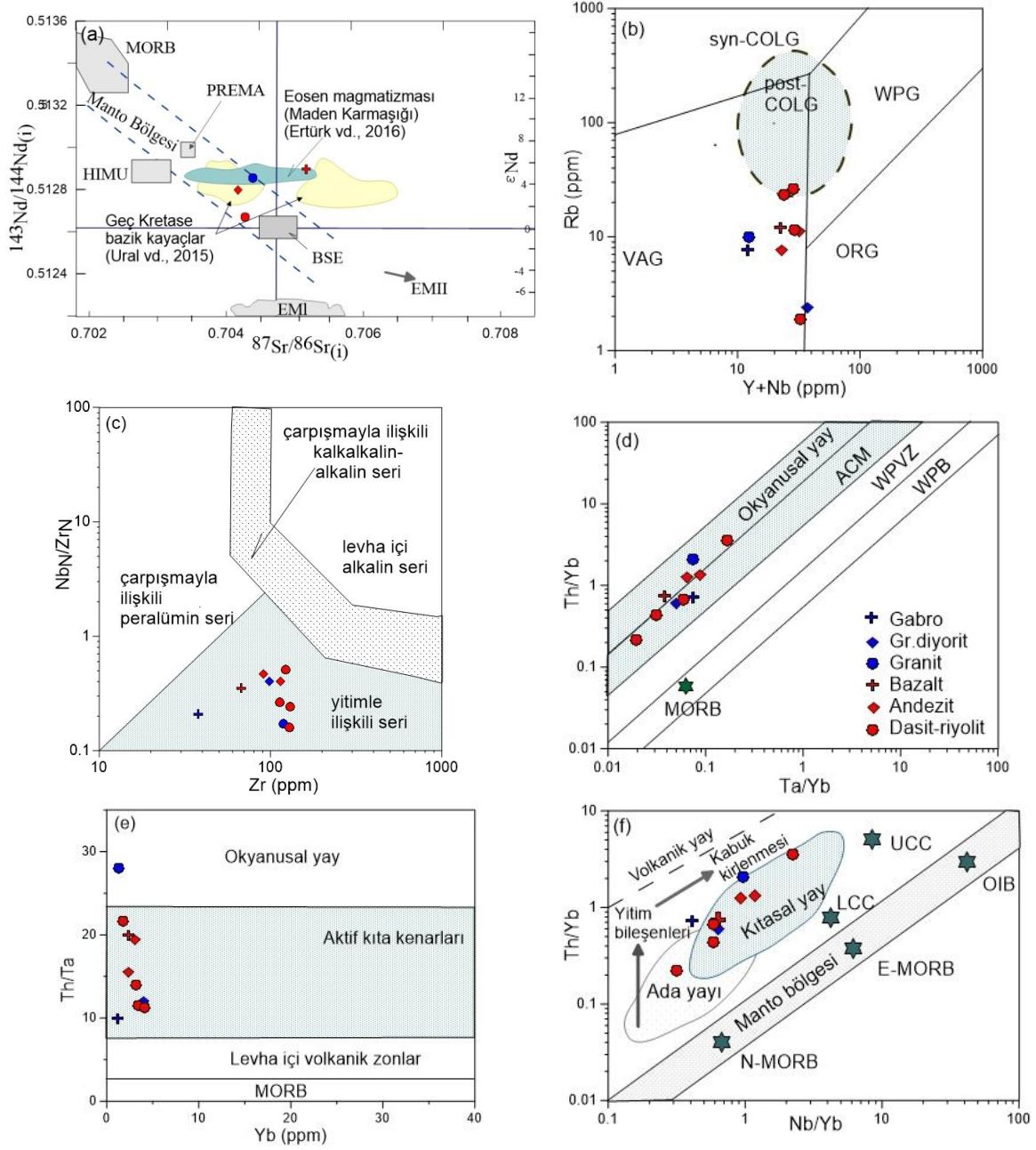
Ancak magmatizmanın aktif bir kıta kenarında volkanik bir yayda oluştuğuna dair jeolojik veriler Gorton ve Shandl (2000) ve Pearce (1983) uyumsuz element diyagramlarında da gözlenir (Şekil 8e, f).

Bu veriler aynı zamanda Nb, Ta ve Ti'nin negatif anomalilerinin gözlemlendiği ve yitim süreçleriyle ilgili aktif kıta kenarlarında oluşan magmatizma için tipik olduğu kabul edilen çoklu element diyagramları ile tutarlıdır (Wilson, 1989; Rollinson, 1993) (Şekil 7).

Ancak yitim bileşenlerinin manto kaynak alanlarına eklenme süreçlerinde, yiten altere okyanusal kabukla beraber (Tatsumi vd., 1986; Hawkesworth vd., 1997; Turner, 2002) okyanus tabanı çökelleri veya bunlardan türeyen akışkanlar birinci derecede önemlidir (Class vd., 2000; Elburg vd., 2002; Elliott vd., 1997; Hawkesworth vd., 1997). Dolayısıyla bu mekanizmalarla zenginleşmiş kayaktan oluşan kayaların jeokimyasal verilerinde yukarıda belirtildiği gibi farklılık oluşacaktır (Hawkesworth vd., 1997; Class vd., 2000).

Magmatik kayalarda kaynak bölgesi-magmasının saptanmasında da diğer çalışmalarda olduğu gibi element ve element oranlarından yararlanılır. Yay magmatizmasının en karakteristik özelliklerinden biri olarak kabul edilen yüksek BİYE/YÇAE oranları Rb, Sr, Ba, U ve Pb gibi uyumsuz iz elementlerin, dalan levhadaki sulu akışkanlardaki hareketliliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin Th elementi okyanus tabanı çökelleri veya altere okyanus kabuğunun ergimesi ile hareketli davranırken, Ba elementi bunlardan açığa çıkan akışkanlarda hareketli davranıp zenginleşmektedir (Oyan, 2018). Benzer şekilde, dalan levhadaki derin deniz çökellerinin erimesiyle oluşan ergiyikler kaynak mantoda yüksek HNTE konsantrasyonlarına neden olur. Bu nedenle, yay magmalarının kaynağının dalan okyanusal levhadan salınan sıvılar/ergiyikler ile ilgili metasomatizması, kaynağın yüksek Ba/Th, Ba/La, Sr/Nd ve U/Th oranlarına sahip olmasına neden olur (Oyan vd., 2017). Yb elementi her iki koşulda da hareketsiz

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368



**Şekil 8.** Örneklerin (a) izotop korelasyon diyagramı (Zindler ve Hart, 1986) ve (b) Rb - (Y+Nb) (Harris vd., 1986), (c)  $(Nb/Zr)_N - Zr$  (Thieblemont ve Tegye, 1994), (d) Th/Yb-Ta/Yb (Feng vd., 2017), (e) Th/Ta-Yb (Gorton ve Schandl, 2000; MORB konumu Pearce, 1983), (f) Th/Yb- Nb/Yb (Pearce, 1983) uyumsuz elementlerin diyagramlarında dağılımları. (MORB: Okyanus Ortası Sırt Bazaltları, BSE: Toplam Yerküre, DM: Tüketilmiş Manto, EMI- EMII: Zenginleşmiş Manto, HIMU: yüksek U /Pb oranına (yüksek  $\mu$  değerine) sahip manto, PREMA: Yaygın Manto bileşimi, WPG: Levha İçi Granitoidler, VAG: Volkanik Yay Granitoidleri, ORG: Okyanus Sırt Granitoidleri, Syn-Post-COLG: çarpışma ile eş yaşlı-çarpışma sonrası granitoidler, ACM: Aktif Kıta Kenarı, WPVZ: Levha İçi Volkanik Zon, WPB: Levha İçi Bazaltlar, UCC-LCC: Üst-Alt Kıtasal Kabuk, OIB: Okyanus Ada Bazaltları).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

davranacağından dolayı, yüksek Ba/Yb oranları akışkanlarla zenginleşme veya metasomatizma süreçlerine işaret ederken, yüksek Th/Yb oranları ise derin deniz çökel ergimeleri ile zenginleşme süreçlerine işaret eder (Oyan vd., 2017). Her iki değer de düşük olduğu durumlar ise, altere okyanus kabuğunun ergimesi (Tatsumi vd., 1986; Hawkesworth vd., 1997) veya bunlardan açığa çıkan akışkanlar ile metasomatizma süreçlerini yansıtabilir (Oyan vd., 2017). Belirtilen bu element oranlarından yararlanılarak oluşturulan diyagramlar ile magmatik kayaların kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenler belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla oluşturulan diyagramlarda (Şekil 9a-c), aktif kıta kenarı ürünü olan çalışma alanındaki kayaların Th/Yb ve Th/Ta oranlarına göre, kabuksal kirlenmeyle beraber esas olarak yitim zonu bileşenleriyle zenginleştirilmiş litosferik manto kaynaklı olduğu görülmektedir.

Litosferik kaynaklı kayaların ayırt edilmesinde önemli rol oynayan düşük Nb/La oranının, kıta içi zenginleşmenin yüksek olmasının işareti olarak kabul edilir (Huang vd., 2000). Buna göre Nb/La-La/Yb diyagramında (Şekil 9a) örneklerin astenosferden uzak, litosferik manto alanında yoğunlaştığı görülür. Ancak, çalışma konusu kayaların sadece üst manto kaynağının kısmi ergimesiyle oluşabileceği modeli, örneklerin tüketilmiş manto ve kıtasal kabuk etkisini veren jeokimyasal-izotop verileriyle uygunluk göstermez (Şekil 8). Çalışılan örneklerin düşük MgO (%0,4 – 4,26) ve nispeten yüksek Na<sub>2</sub>O (%2,5-6,39) içerikleri, ilksel alt kıtasal kabuğun kısmi ergimesiyle ilgili yapılan deneysel çalışmalarda (Wolf ve Wyllie 1994, Rapp ve Watson 1995) öne sürülen verilerle [düşük Mg# (~44) ve yüksek Na<sub>2</sub>O içeriği (~%4.3)] uygunluk gösterir. Düşük SiO<sub>2</sub>'li (<%58) ürünlere sahip bu magmanın, alt kıtasal kabuktaki metabazaltların dehidratasyon ergimeleriyle oluştuğu belirtilir (Wolf ve Wyllie 1994, Rapp ve Watson 1995). Buna göre bu çalışmada analizi yapılan örneklerin özellikle MgO (%0,4 – 4,26) ve Na<sub>2</sub>O (%2,5-6,39) içeriğinin bu koşullara uyması kaynaktan kabuksal bir girdinin

varlığına işaret eder. Benzer şekilde, Th/U oranının Th ve U'a göre değişimleri kullanılarak oluşturulan diyagramlarda, çalışma alanındaki kayaların kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 9b, c). Diyagramlarda örneklerin büyük çoğunlukla N-MORB kaynaklı ve alt kıtasal kabuğa yakın ergime ürünleri ile benzerlik göstermesi, kaynak magmanın zenginleşmesini işaret etmektedir.

### Kısmi Ergime

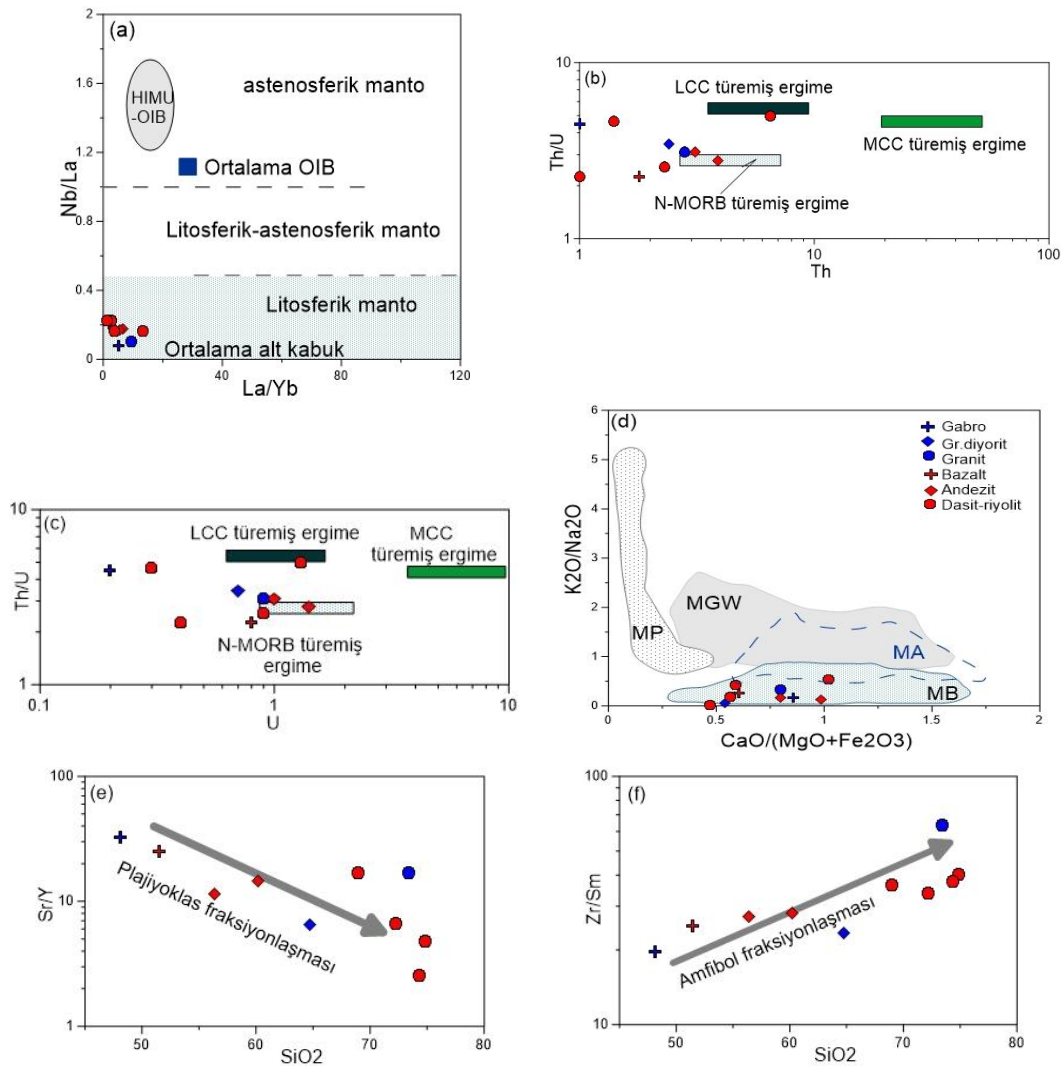
Nadir toprak elementler arasındaki ilişkilerin kullanıldığı kısmi ergime matematiksel modellemeleri ile kaynak mantının malzemesi belirlenebilmektedir (Lebedev vd., 2016b). Genel olarak, granat peridotit fasiyesinden elde edilen magmalar, spinel fasiyesine göre daha yüksek La/Yb oranı ve daha düşük erime fraksiyonlarına sahip olacaktır (Shaw vd., 2003). Benzer olarak, ergiyikte orta NTE'lerin (Sm) ağır NTE'lere (Yb) kıyasla zenginleşmesi, magma oluşum sürecinde kalıntı faz olarak granatın korunmasına bağlı olarak, kısmi ergime derecesi azaldıkça, Sm/Yb oranı artacaktır. Duraylı iz element içerikleri de bu sürecin belirlenmesinde önemli katkı sunmaktadır. Örneğin Rb/Sr'a karşı Rb/Ba'un düzgün doğrusal yönelimleri kısmi ergime belirteci olarak kabul edilirken (Patino Douce ve Johnston, 1991), Zr'un Y ve Nb ile olan ilişkisi de kısmi ergime derecesini belirtir. Yüksek Zr/Y ve düşük Zr/Nb oranlarının genel olarak düşük derecedeki kısmi ergimeye, düşük Zr/Y ile yüksek Zr/Nb oranının ise yüksek derecedeki kısmi ergimeye işaret ettiği kabul edilmektedir (Menzies ve Kyle, 1990). Buna göre bu çalışmada analizleri yapılan örneklerin düşük Zr/Y (2,82- 10,78) ve yüksek Zr/Nb (30,6-91,23) oranları ile yüksek kısmi ergime derecesine işaret ettiği söylenebilir (Tablo 2).

Magma bileşimindeki farklılıklar, farklı bileşimlerdeki (amfibolit, tonalitik gnays, metagrovak ve metapelit) kaynak kayaların değişken ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmi ergimeler sonucu oluşabilmektedir (Rapp ve Watson, 1995). Deneysel çalışmalarla ana element oksitlerin oranları kullanılarak, susuz ergime

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

koşullarında farklı bileşimdeki kayaçların, kısmi ergime bileşimlerini gösteren diyagramlar oluşturulmuştur (Kaygusuz vd., 2013). Çalışmalarda mafik kaynak kayaçların kısmi ergimeleri sonucunda, metapelitlere oranla daha düşük  $K_2O/Na_2O$  ve  $Al_2O_3/(MgO+FeO^I)$  ile daha yüksek  $CaO/(MgO+FeO^I)$  oranlara sahip olduğu belirlenmiştir. Felsik kayaçlardan türeyen kısmi ergime de ise metagrovaklara nazaran daha düşük

$Al_2O_3/(MgO+Fe_2O_3)$  ve  $CaO/(MgO+Fe_2O_3)$  oranları gözlenir. Buna göre çalışma konusu kayaçlarda gözlenen düşük  $K_2O/Na_2O$  oranına karşın daha yüksek  $CaO/(MgO+Fe_2O_3)$  içerikleri (Şekil 9d) değişken ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmi ergimelere karşın bu kayaçların kökeninde bazik bileşimli kayaçların önemli etken olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 9.** (a) Nb/La-La/Yb (Jahn vd., 1999) (b) Th/U- Th, (c) Th/U-U diyagramı. (d) Kayaçların kaynak kayaç bileşimlerini gösteren  $K_2O/Na_2O - CaO/(MgO+Fe_2O_3)$  diyagramında dağılımları (Kaygusuz vd., 2013). Kayaçlarda plajiyoklas (e) ve amfibollerin (f) fraksiyonlaşma fazlarını gösteren diyagram. HIMU: Yüksek U/Pb oranına sahip manto, MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı, OIB-OAB: Okyanus Adası Bazaltı; LCC-MCC Alt-Orta Kıtasal Kabuk, MB; metabazaltlar, MA; metaandezitler, MGW; metagrovaklar, MP; metapelitler.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

## Fraksiyonel Kristallenme, Magma Karışımı ve Asimilasyon/Kontaminasyon

Kayaçların ana ve iz elementleri arasındaki değişimlerinde gözlenen korelasyonlar bu kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkisini göstermektedir. Bu amaçla  $\text{SiO}_2$  esas alınarak çizilen ana oksit ve bazı iz element değişim diyagramlarında (Şekil 6) gözlenen trendler ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve Sr negatif ve  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Y, Ba, Rb, Zr ve Nb içeriğinde pozitif), fraksiyonel kristalizasyon süreçleri ile uyumludur. Bu elementlerdeki negatif yönelimler hornblend, piroksen, apatit ve titanit minerallerinin fraksiyonlaşmasına işaret ederken pozitif korelasyon ise K.feldispat ve biyotitin fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynadığı kabul edilir. Ayrıca özellikle volkanik kayaçlarda gözlenen negatif Eu anaomalisi plajiyoklasların fraksiyonlaşmasına işaret eden en önemli bulgudur (Şekil 7). Yine  $\text{SiO}_2$ -Sr/Y ve  $\text{SiO}_2$ -Zr/Sm diyagramlarında da (Şekil 9e, f) plajiyoklas ve amfibolün önemli bir fraksiyonlaşma fazı oluşturduğu görülür.

Çalışma bölgesindeki plütonik kayaçlarda mafik magmatik anklavların bulunması magma karışımının işareti olarak kabul edilirken, elementlerin dağılımları ve element oranlarındaki değişimler kaynak magmanın zenginleşme veya asimilasyon/kontaminasyon süreçlerinin belirlenmesinde etkili olur. Örneğin bu kayaçlarda gözlenen yüksek BİYE ve düşük YÇAE içeriği ile NTE'lerce zenginleşmenin, dalma-batma süreci ve/veya yükselme sırasındaki kabuksal kirlenme (kontaminasyon/Asimilasyon) sonucu olduğu kabul edilmektedir. Mantodan türemiş Elazığ Magmatitleri örneklerinin yükselimi/yerleşimi sırasında kabuk tarafından da kirlenmiş magmalara işaret ettiği, bu kayaçlarda kıtasal kabuk etkisi veya zenginleşmesinin belirlenmesinde kullanılan Th elementinin dağılımına bakıldığında görülmektedir (Şekil 8d-f). Kıtasal kabukta Th elementinin yüksek içeriğine karşın Yb elementinin tüketilmiş olması ve bu nedenle yüksek Th/Yb oranı bu kayaçların kabuksal kirlenmeden etkilendiğini gösterir.

## SONUÇLAR

- Elazığ Magmatitlerine ait örneklerde yapılan petrografik çalışmalarda; plütonik kayaçların granit ve diyorit, volkanik kayaçlardan lavların andezit, bazalt, bazaltik andezit, spilitik bazalt, dasit, riyolit, piroklastik kayaçların ise kristal ve litik tüf bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Genel olarak holokristalin, subofitik, granofirik, porfirik ve amigdaler dokular gözleendiği bu kayaçların yoğun alterasyona uğradığı belirlenmiştir.

-Jeokimyasal verilerde kayaçların genel olarak subalkalin özellikli ve plütonik kayaçların düşük-K'lu toleyitik, volkanik kayaçların ise orta-K'lu kalkalkalen özelliktedir.

-İncelenen kayaçların ana element oksitlerinin  $\text{SiO}_2$  ile olan Harker değişim diyagramlarında, volkanik ve plütonik kayaçların genel olarak birbirleriyle uyumlu oldukları ve  $\text{SiO}_2$  ile  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{P}_2\text{O}_5$  arasında negatif korelasyon gözlenirken  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  ile pozitif korelasyonludur. Benzer olarak iz elementlerin  $\text{SiO}_2$  ile olan değişimlerinde, her iki kayaç grubunda da Sr negatif Y, Ba, Rb, Zr ve Nb pozitif dağılım göstermektedir.

-İlksel mantoya normalize edilmiş diyagramlarda, tüm kayaç örneklerinin element davranışları, bu kayaçların yitim sürecinde dalan levhadan ayrılan elementler bakımından zenginleşmiş olabileceğini düşündürmektedir. Yine bu verilerle beraber kondrite normalleştirilme diyagramlarında, plütonik ve volkanik kayaç örneklerinin alt kıtasal kabuk magmatizması ile uyumlu olduğu görülmüştür.

-Jeokimyasal verilere göre tüm kayaçların volkanik yay ortamında olduğu ve bu kayaçları oluşturan magma kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenlerin, yitim zonu bileşenleriyle zenginleştirilmiş litosferik manto kaynaklı ve kabuksal kirlenmeden etkilendiği söylenebilir. Ayrıca bu kayaçların, farklı element oranları ile oluşturulan diyagramlardaki dağılımları, yitim etkisi ile oluşmuş sıvılarla beraber, sediman ergiyikleri ile metasomatize edilmiş bir manto kaynağından türediğine işaret eder. Yine bu veriler, değişken

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmi ergimelere karşın, bu kayaların kökeninde bazik bileşimli kayaların önemli etken olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Elazığ Magmatitleri plütonik ve volkanik kayaları ile ilgili bu çalışmada, plütonik ve volkanik kayaların ana ve iz element verilerinin benzer özellikli olduğu dolayısıyla bu kayaları oluşturan magmatizmanın aynı/benzer kaynak ve süreçlerden etkilenmiş olabileceği söylenebilir.

### TEŞEKKÜR

Kübra Yüksel'in "Yüksek Lisans Tez" çalışması olarak yürütülen bu çalışma "FÜBAP-MF.18.36" protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, bu amaçla destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (FÜBAP) teşekkür ederler.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

### ARAŞTIRMA ve YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar, bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan ederler.

### KAYNAKLAR

- Akgül, B., 1993. Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgül, M., 1987. Baskil (Elazığ) Granitoidinin petrografik ve petrolojik incelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgül, B. ve Bingöl, A. F., 1997. Piran (Keban) köyü çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Aksoy, E., 1993. Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. Turkish Journal of Earth Sciences, 2, 113-123.
- Aksoy, E., Turan, M., Türkmen, İ., ve Özkul, M., 1996. Elazığ havzasının Tersiyer'deki evrimi.

- KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri, Trabzon, 293-310.
- Allen, M. ve Armstrong, H.A., 2008. Arabia-Eurasia collision and the forcing of Mid-Cenozoic global cooling. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 265(1), 52-58.
- Beyarslan, M., 2005. The Upper Cretaceous Ophiolites and Magmatic Arc Rocks in the Eastern Taurus, Turkey, Geological Society of India. 66, 323-333.
- Beyarslan, M. ve Bingöl, A.F., 2018. Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implications of late cretaceous intra-oceanic arc magmatics in the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE-Turkey). Journal of African Earth Sciences, 147, 477-497.
- Bingöl, A.F., 1982. Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayaların petrolojisi. Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 1, 9-21.
- Bingöl, A.F., 1984. Elazığ-Petek-Kovancılar (Doğu Toroslar) yöresinin jeolojisi. Toros Jeolojisi Uluslararası Sempozyumu, Tebliğler, 26-29 Eylül 1983, Ankara.
- Bingöl A.F., 1988. Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ Region (Eastern Taurus-Turkey). Jour. Fırat Üniversitesi Dergisi, 3(2), 1-17.
- Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 1996. Elazığ magmatitlerinin jeokimyası ve petrolojisi. K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Metinleri, 208-224.
- Cavazza, W., Albino, I., Galoyan, G., Zattin, M. ve Cattò, S., 2019 Continental accretion and incremental deformation in the thermochronologic evolution of the Lesser Caucasus. Geoscience Frontiers, 10(6), 2189-2202. doi: 10.1016/j.gsf.2019.02.007
- Class, C., Miller, D.M., Goldstein, S.L. ve Langmuir, C.H., 2000. Distinguishing melt and fluid subduction components in Umnak volcanics, Aleutian arc. Geochemistry, Geophysics, Geosystems.1
- Cox, K.G., Bell, J.D. ve Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George, Allen and Unwin, London.
- Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A. ve İnceöz, M., 2012. The Palu-Uluova Strike-Slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- Transition from the Palaeotectonic to Neotectonic Stage. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 1-24.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia—a collision zone, in collision tectonics. *Society, Special Publications*, 19, 3–36
- De Paolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planet Science Letters*, 53, 189–202.
- Di Giuseppe, P., Agostini, S., Savaşçın, M.Y., Manetti, P. ve Conticelli, S., 2018. Sub-lithospheric origin of Na-alkaline and calc-alkaline magmas in a post-collisional tectonic regime: Sr–Nd–Pb isotopes in recent monogenetic volcanism of Cappadocia, Central Turkey. *Lithos*, 316–317, 304–322. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.07.018>
- Elburg, M.A., Leeuwen, T.V. ve Foden, J., 2002. Origin of Geochemical Variability by Arc–Continent Collision in the Biru Area, Southern Sulawesi (Indonesia). *Journal of Petrology*, 43(4), 581-606.
- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., White, W. ve Bourdon, B., 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *Journal of Geophysical Research*, 102(7), 14991-15019.
- Feng, Z-Q., Li, W-M., Liu, Y-J., Jin, W., Wen, Q-B., Liu, B-Q., vd., 2017. Early Carboniferous tectonic evolution of the northern Heihe–Nenjiang–Hegenshan suture zone, NE China: Constraints from the mylonitized Nenjiang rhyolites and the Moguqi gabbros. *Geological Journal*, 1-17. DOI: 10.1002/gj.2940
- Gorton, M.P. ve Schandl, E.S., 2000. From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks: *Canadian Mineralogist*, 38, 1065–1073.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Introduction to the geology of Turkey: Geodynamic evolution of the pre-Alpine and Alpine terranes. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları*.
- Hawkesworth, C. J., Turner, S., McDermott, F., Peate, D.W. ve Van Calsteren, P., 1997. U-Th Isotopes in arc magmas: implications for element transfer from the subducted crust. *Science*, 276, 551-555.
- Herece, E.İ. ve Acar, Ş., 2016. Upper Cretaceous-Tertiary geology/stratigraphy of Pertek and its vicinity (Tunceli, Turkey). *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 153, 1-44.
- Huang, Y., Hawkesworth, C., Smith, I., Calsteren, P. ve Black, P., 2000. Geochemistry of late Cenozoic basaltic volcanism in Northland and Coromandel, New Zealand: implications for mantle enrichment processes. *Chemical Geology*, 164, 219-238.
- İbiliöğlü, D., 2008. Elazığ havzası paleojen istifinin mikropaleontolojik (planktik foraminifer ve ostrakodlarının) incelenmesi ve ortamsal yorumu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İnceöz, M., 1994. Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jahn, B.M., Wu, F., Lo, C.-H. ve Tsai, C.-H. 1999. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. *Chemical Geology* 157, 119–146.
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Hejl, E., Neubauer, F. ve Klötzli, U., 2016. The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE Turkey): Evidence from U–Pb, Ar–Ar and fission track chronology. *Gondwana Research*, 33, 190-208.
- Kaya, A., 2016. **Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey**
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z., 2006. Torul (Gümüşhane) volkanitlerinin petrografik ve petrolojik özellikleri (KD Türkiye); fraksiyonel kristallenme ve magma karışımına ilişkin bulgular, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49(1), 49-82.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4, 423–438.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P. ve Koç, A., 2010. Late Cretaceous to Recent kinematics of SE Anatolia (Turkey). In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R. A., Bergerat, F. ve Starostenko, V., (eds) Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society, London, Special Publications, 340, 409–435.
- Keskin, M., 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30(24),1-4. doi.10.1029/2003GL018019.
- Keskin, M., 2007. Eastern Anatolia: a hot spot a collision zone without a mantle plume. In: Foulger, G.R., ve Jurdy, D., (eds) Plates, plumes and planetary processes. Geological Society of America, Special Papers, 430, 693-722.
- Ketin, İ., 1966. Türkiye'nin tektonik birlikleri. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 66, 20-34.
- Koçyiğit, A., Aksoy, E. ve Inceöz, M. 2003. Basic Neotectonic Characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. *Excursion Guide Book, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Palaeoseismology*, 31 August to 12 September 2003, METU (Ankara, Turkey).
- Kürüm, S., 2011. K-Ar age, geochemical, and Sr-Pb Isotopic compositions of keban magmatics, elazığ, Eastern Anatolia, Turkey. *Natural Science*, 3(9), 750-767.
- Kürüm, S., Akgül, Özbulut, E. ve Ural, M., 2007. Polijenetik bir volkanizma ve petrografik-jeokimyasal özellikleri: Harput (Elazığ) Karataş tepe volkanizması. *Yerbilimleri/Geosound*, 50-51, 47-64.
- Kürüm, S., Akgül, B., Öztüfekçi Önal, A., Boztuğ, D., Harlavan, Y. ve Ural, M., 2011. An example for arc-type granitoids along collision zones: The Pertek granitoid, Taurus Orogenic Belt, Turkey. *International Journal of Geoscience*, 2, 214-226.
- Kürüm, S. ve Tanyıldızı, Ö., 2017. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Upper Cretaceous (calc-alkaline) and Miocene (alkaline) volcanic rocks: Elazığ, Eastern Taurides, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 134, 332-344.
- Lebedev, V., Chugaev, A.V., Sharkov, E. ve Keskin, M., 2016b. Late pleistocene tendürek volcano (eastern Anatolia, Turkey). II. Geochemistry and petrogenesis of the rocks. *Petrology*, 24(3), 234–270.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., ve Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Le Maitre, R.W., Bateman, R, Dudok, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolcy, A.R. ve Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford, pp.193.
- Lin, Y.C., Chung, S.L., Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 2015. Petrogenesis of late Cretaceous Elazığ magmatic rocks from SE Turkey: New age and geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints. *Goldschmidt*.
- Menzies, M. ve Kyle, P.R., 1990. Continental volcanism: a crust-mantle probe. In: Menzies M.A (ed.), *Continental mantle*. Clarendon Press, Oxford, 157-177.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66, 91-104.
- MTA., 2002. Geological map of Turkey: Ankara, Turkey, scale 1:500,000
- Neill, I., Meliksetian, K., Mark, M.B., Navasardyan, G. ve Kuiper, K., 2015. Petrogenesis of mafic collision zone magmatism: The Armenian sector of the Turkish–Iranian Plateau. *Chemical Geology*, 403, 24-41.
- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey, in Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., and Séranne, M., eds., *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*: Geological Society of London Special Publications, 156, 475–515.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altın, S., Altın, D., Sherlock, S., Eren, R.H., 2006, Cretaceous and Triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1247-1269.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- Oyan, V., 2018. Ar-Ar dating and petrogenesis of the early Miocene taşkapı-mecitli (Erciş-Van) granitoid, eastern Anatolia collisional zone, Turkey. *J. Asian Earth Sci.*, 158, 210–226.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V. ve Ünal, E., 2017. Petrology and geochemistry of the quaternary mafic volcanism to the NE of Lake Van, eastern Anatolian collision zone, Turkey. *Journal of Petrology*, 58 (9), 1701–1728.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 65-78.
- Özkul, M., 1988. Elazığ batısında Kırkgeçit Formasyonu üzerinde sedimantolojik incelemeler. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkul, M. ve Kerey, İ. E., 1996. Şelf, derin deniz kompleksinde fasiyes analizleri: Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen), Baskil, Elazığ. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 57-70.
- Parlak, O., Höck, V., Kozlu, H. ve Delaloye, M., 2004. Oceanic crust generation in an island arc tectonic setting, SE Anatolian Orogenic Belt (Turkey). *Geological Magazine*, 141(5), 583-603.
- Patino-Douce, A.E. ve Johnston, A.D., 1991. Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 107, 202–218.
- Patino-Douce A. E. ve Beard J. S., 1995. Dehydration melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 Kbar. *Journal of Petrology*, 36, 707-738.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorps, R.S. (ed.), *Andesites*. Wiley, Chichester, 525-548.
- Pearce, J. A., 1983. Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active margins, in *Continental basalts and mantle xenoliths*, Hawkesworth, C. J., Norry, M. J., Nantwich, U.K., (eds.), Shiva Publishers, 230-249.
- Pearce, J.A. ve Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956–983.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., DeLong, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Saroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. ve Mitchell, J.G., 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189–229.
- Pearce, J. A., Ernewein, M., Bloomer, S. H., Parson, L. M., Murton, B. J. ve Johnson, L. E., 1995. Geochemistry of the Lau Basin volcanic rocks: influence of ridge segmentation and arc proximity, Smellie, J.L., London (eds.), In *volcanism associated with extension at consuming plate margins*, Geological Society, Special Contributions, 81, 53–75.
- Pearce, J.A. ve Peate, D.W. 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review Earth Planet Sciences Letter*, 23, 251–285.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastomonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Perincek, D., 1979. The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya area: Guide book, *Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını*.
- Rapp, R.P. ve Watson, E.B., 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36, 891–931.
- Rızaoğlu, T., Parlak, O., Höck, V., Koller, F., Hames, W.E. ve Billor, Z., 2009. Andean-type active margin formation in the eastern Taurides: geochemical and geochronological evidence from the Baskil granitoid (Elazığ, SE Turkey). *Tectonophysics*, 473, 188-207.
- Robertson, A. H. F., 2000. Mesozoic–Cenozoic tectonic-sedimentary evolution of a south Tethyan oceanic basin and its margins in southern Turkey, in *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. ve Piper, J.D.A., (eds.) Geological Society, Special Publications, 173, 97–138.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O. ve Ustaömer, T., 2013. Late Palaeozoic–Early Cenozoic tectonic

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- development of Southern Turkey and the easternmost Mediterranean region: evidence from the inter-relations of continental and oceanic units, In: Robertson, A.H.F., Parlak, O. ve Ünlügenç, U.C., (eds.) Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications, 9–48.
- Rollinson, H., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, New York, John Wiley & Sons, 352 pp.
- Rudnick, R.L. ve Fountain, D.M., 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews in Geophysics*, 33, 267–309.
- Sar, A., 2016. Pertek (Tunceli) güneydoğusundaki granitoidlerin petrolojisi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seyrek, A., Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T. ve Rowbotham, G., 2008. Timing of the Quaternary Elazığ Volcanism, Eastern Turkey, and its Significance for Constraining Landscape Evolution and Surface Uplift. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 497–541.
- Shaw, J.E., Baker, J.A., Menzies, M.A., Thirlwall, M.F. ve Ibrahim, K.M., 2003. Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian plate (Jordan): a mixing lithosphere-asthenosphere source activated by lithospheric extension. *Journal of Petrology*, 44, 1657–1679.
- Sun, S. S. Ve McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, in *Magmatism in the Ocean Basins*. In: Saunders, A. D. ve Norry, M.J., (eds.) Geological Society of London, Special Publications, 42, 313-347.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H., 1985. Elazığ-Hazar-Palu Alanının Jeolojisi. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Rap. No. 29*, 83-190.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. “Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach”. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A.D. and Kayan, I., 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for postcollisional crust-forming processes in Turkic-type orogens: *Earth-Science Reviews*, 90, 1-48.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.L. ve Nesbit, R.W., 1986. Chemical characteristics of fluid phase released from lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high pressure experiments and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 39, 293–309.
- Taylor, H.P., 1980. The effect of assimilation of country rocks by magmas on  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  systematics in igneous rocks. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 47, 243–254.
- Tekin, U.K., Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Arslan, M. ve Kürüm, S., 2015. Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey. *Comptes Rendus Palevol*, 14, 73-84.
- Thieblemont, D. ve Tegye, Y., 1994. Geochemical discrimination of differentiated magmatic rocks attesting for the variable origin and tectonic setting of calc-alkaline magmas. *Comptes Rendus de l’Academie des Sciences Series IIA*, 319, 87–94.
- Topuz, G., Candan, O., Zack, T. ve Yılmaz, A., 2017. East Anatolian Plateau constructed over a continental basement: no evidence for the East Anatolian Accretionary complex. *Geology*, 45, 791–794.
- Turan, M., 1993. Elazığ yakın civarındaki bazı önemli tektonik yapılar ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yeri. A. Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, 193-204.
- Turan, M. ve Bingöl A.F., 1991. Kovancılar Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektonostratigrafik özellikleri. Ç.Ü. Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Tebliğler, 213-227.
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A.F., 1995. Doğu Torosların jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2), 177-199.
- Turan, M. ve Türkmen, İ., 1996. Kuşçular Formasyonu’nun (Erken Paleosen) stratigrafisi ve sedimentolojik özellikleri. *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 109-121.
- Turner, S.P., 2002. On the time-scales of magmatism at island-arc volcanoes. *Philosophical Transactions of the Royal Society*


Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- of London, Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 360, 2853– 2871.
- Türkmen, İ., İnceöz, M., Aksoy, E. ve Kaya, M., 2001. Elazığ yöresinin Eosen stratigrafisi ve paleocoğrafyası ile ilgili yeni bulgular. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Bülteni, 24, 81-95.
- Ural, M., Arslan, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U.K. ve Kürüm, S., 2015. Late Cretaceous arc and back-arc formation within the southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova complex (Malatya-Elazığ, SE Turkey). *Ofioliti*, 40(1), 57-72.
- Weaver, B. ve Tarney, J., 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, 310, 557-575.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis, in a Global Tectonic Approach*, Ed. Chapman and Hall, London, 466p.
- Wolf, M.B. ve Wyllie, P.J., 1994. Dehydration-melting of solid amphibolite at 10 kbar-the effects of temperature and time. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115, 369-83.
- Zindler, A. ve Hart, S., 1986. Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493–571.

## Tunceli Florası İçin Yeni Kayıtlar

**Mehmet Yavuz Paksoy**

*Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Sağlık Hizmetleri ve Teknikleri Bölümü, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Programı, Tunceli, Türkiye*

*mypaksoy@gmail.com* 

*Makale gönderme tarihi: 23.12.2021, Makale kabul tarihi: 23.03.2022*

### Öz

Bu çalışma Tunceli ilinin florasına katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu araştırmada toplanan bitkilerin teşhis edilmesi sonucunda 41 familyaya ait 134 cins; bu cinslere ait 177 taksonun (52 alttür ve 9 varyete) Tunceli ili için yeni kayıt olduğu tespit edilmiştir. Taksonlardan 32'si (%18) endemiktir. Floristik analizler sonucu tespit edilen bitkilerin fitocoğrafik dağılımları sırasıyla; 51'i (%28.8) İran-Turan; 19'u (%10.7) Avrupa-Sibirya; 14'ü (%7.9) Akdeniz; 93'ü (%52.6) ise Geniş yayılışlı ve Bilinmeyen olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Flora, Tunceli, yeni kayıt

## New Records for Tunceli Flora

### Abstract

This study was carried out in order to contribute to the flora of Tunceli province. As a result of the identification of the plants collected in this research, 134 genera belonging to 41 families; it has been determined that 177 taxa (52 subspecies and 9 varieties) belonging to these genera are new records for Tunceli province. 32 (18%) taxa are endemic. The phytogeographic distributions of the plants determined as a result of the floristic analyzes are respectively; 51 (28.8%) Iranian-Turan; 19 (10.7%) were Euro-Siberian; 14 (7.9%) were Mediterranean; 93 (52.6%) are Widely distributed and Unknown.

**Keywords:** Flora, Tunceli, new records

### GİRİŞ

Bir bölgenin flora zenginliği çeşitli vejetasyon tiplerinin bulunması, burada yayılış gösteren bitkilerin sayısı, çeşitliliği ve özellikle endemik türlerin varlığıyla ölçülebilir. Ülkemiz coğrafik konumu, jeolojik yapısı, farklı iklim tiplerinin görülmesi sebebiyle flora bakımından oldukça zengindir.

Tunceli; Doğanadolu bölgesinde, kuzeyde Erzincan; güneyde Elazığ; doğusu ise Bingöl illeriyle sınırdır. Araştırma alanı Davis'in kareleme sistemine göre B7 ve B8 karelerinde, fitocoğrafik olarak İran-Turan bölgesinde bulunmaktadır (Davis, 1985). Tunceli, deniz seviyesinden 850-3462 m. arasında değişen bir yükseklikte çok çeşitli yer şekilleri ile karakterize edilir. Tunceli il sınırları içerisinde bulunan dağlar Doğu Torosların uzantısı olarak batı-doğu yönünde uzanmaktadır. Munzur Dağları ve uzantısı olan Avcı Dağları, il topraklarının kuzeybatı

ve kuzey kesiminde doğal sınır oluşturmakta, kuzeydoğusunda ise Bağırpaşa Dağı yer almaktadır. En yüksek zirvesi bölgenin kuzeydoğu kesiminde Akbaba tepe (3462 m) olarak adlandırılan Mercan Dağıdır. İlin orta ve güney kesimlerinde 1500-2000 metre yükseklikte dizilen tepeler vardır. Mazgirt'in doğusundaki Kırklar Dağı (2033 m.), Hozat'ın güneydoğusundaki Topatan Tepe (2234 m.), Merkez-Ovacık arasında bulunan Karaoğlan Dağı (2422 m.) ilin başlıca yüksek tepeleridir (Yıldırım, 1995). Tunceli ilinde yıllık ortalama sıcaklık 12.7 °C ve yağış miktarı yaklaşık 876.7 mm'dir. Temmuz ve Ağustos en kurak aylardır ve bu dönemde aylık ortalama yağış 5 mm'nin altına düşer. Ortalama 136.8 mm yağış miktarıyla en fazla yağış Aralık ayında en düşük yağış miktarı ise 4.7 mm ile Ağustos ayında görülmektedir. Temmuz 27.1 °C ile yılın en sıcak, Ocak -5.5 °C ile en düşük sıcaklığın görüldüğü

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1040646

aylardır. Bölgenin iklimi Köppen-Trewatha iklim sınıflandırmasına göre Yazları sıcak, Kışları soğuk, Ilıman Karasal (Dcao) olarak sınıflandırılmaktadır (MGM, 2021).

## MATERYAL VE METOT

Çalışmanın materyalini 2015-2021 yılları arasında değişik vejetasyon dönemlerinde floristik geziler düzenlenerek çeşitli lokalitelerden toplanan bitki örnekleri oluşturmaktadır. Arazi çalışmalarında toplanan bitki numuneleri herbaryum kuralarına göre preslenip kurularak, Munzur Üniversitesi'nde bulunan kişisel herbaryumda saklanmaktadır. Bitki örneklerinin teşhisleri Türkiye Florası ve ilgili kaynaklar kullanılarak yapılmıştır (Davis, 1985; Davis, 1988; Duran ve Aytaç, 2016; Fırat, 2017; Güner ve ark., 2000; Kandemir ve ark., 2017). Floristik listeyi oluşturan bitkilerin familya, cins ve türleri alfabetik sıraya göre verilmiştir. Bu listede sırasıyla bitki adı, endemiklik durumu, fitocoğrafik bölgesi, istasyon numarası, toplama tarihi ve toplayıcı numaraları belirtilmiştir. Bitki listesi verilmeden önce bitki toplanan lokalitelerin listesi verilmiştir. Bitki adları ve otörleri yazılırken "The plant list", "International Plant Names Index" esas alınmıştır (TPL, 2021; IPNI, 2021).

### Bitkilerin Toplandığı Lokaliteler

1. Pülümür; Ardıçlı yaylası, 2000-2300 m,
2. Pülümür; Bağırba dağı, 2100-2450 m
3. Pülümür; Karagöz köyü, 1700-2000 m,
4. Pülümür; Ağaşenlik köyü, 1600-1800 m,
5. Pülümür; Balpayam köyü, 1700-1900 m,
6. Pülümür; Sarıgül köyü, Buyer şelalesi civarı, 1500-2050 m,
7. Pülümür; Pülümür vadisi, Pülümür'e 35. km kala, 1300-1400 m,
8. Pülümür; Pülümür vadisi, Pülümür'e 10. km kala, 1300-1500 m,
9. Pülümür; Pülümür vadisi, Pülümür'e 25. km kala, 1300-1400 m,
10. Ovacık; Gözeler, 1400-1600 m,
11. Ovacık; Tunceli-Ovacık arası 20. km, 1200 m,
12. Ovacık; Işıkvuran köyü civarı, 1700 m,
13. Tunceli; Aktuluk köyü civarı, 1000 m,

### Kısaltmalar

°C : Santigrat derece

E.Medit.: Doğu Akdeniz fitocoğrafya bölgesi

End.:Endemik

Euro.-Sib.: Avrupa-Sibirya fitocoğrafya bölgesi

Euxin: Öksin fitocoğrafya bölgesi

Ir.-Tur.: İran-Turan fitocoğrafya bölgesi

km: kilometre

m: metre

mm: milimetre

Medit.: Akdeniz fitocoğrafya bölgesi

P: Paksoy

## BULGULAR

### Adoxaceae

*Sambucus nigra* L. (Euro-Sib.),**9**,14.06.2021, P 2333

### Amaranthaceae

*Atriplex laevis* Ledeb.,**7**,30.06.2021,P2511

### Amaryllidaceae

*Allium callimischon* Link. subsp. *haemostictum* Stearn (E.Medit.),**2**, 01.08.2020, P 2243

*A. hoshabicum* Fırat, **End.**,(Ir.-Tur.),**2**, 18.07.2020, P 2200

*A. szovitsii* Regel (Euxine),**3**,14.08.2019, P 1980

### Anacardiaceae

*Pistacia terebinthus* L.,(Medit.),**9**,14.06.2021, P 2317

### Apiaceae

*Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm.,**1**, 18.07.2020, P 2222

*Astrantia maxima* Pallas subsp. *haradjianii* (Grintz.) Rech. fil. **End.**,**8**,17.06.2021, P 2397

*Berula erecta* (Huds.) Coville subsp. *erecta* **8**, 17.06.2021, P 2453

*Bilacunaria microcarpa* (M.Bieb.) Pimenov & V.N.Tikhom.,**10**, 25.06.2015, P 1552

*Bupleurum* L. *falcatum* subsp. *cernuum* (Ten.) Arcang.,**2**,19.08.2018, P 1726

*Bunium simplex* (K.Koch) Klyuikov (Ir.-Tur.),**10**,12.06.2016, P 1606

*Caucalis platycarpus* L. subsp. *platycarpus*, **8**,10.06.2021, P 2270

*Chaerophyllum astrantiae* Boiss. & Balansa ex Boiss. (Euxine),**1**,20.08.2018, P 1755

*Cnidium silaifolium* (Jacq.) Simonk.,**7**,09.06.2021, P 2265

*Conium maculatum* L.,**7**,25.06.2019, P 1853

*Ferula communis* L. subsp. *communis* (Medit.),**8**,20.08.2018, P 1746

*Ferulago longistylis* Boiss., **End.**, (Ir.-Tur.),**8**, 17.06.2021, P 2401

*Grammosciadium pterocarpum* Boiss. (Ir.-Tur.),**12**,12.06.2016, P 1589

- Heracleum pastinacifolium* C. Koch subsp. *incanum* (Boiss. & Huet) Davis **Endemik**,**2**, 19.08.2018, P 1744  
*Lecokia cretica* (Lam.) DC.,**11**,04.06.2018, P 1715  
*Lisaea heterocarpa* Boiss. (Ir.-Tur.),**13**, 03.06.2015, P 1520  
*Opopanax hispidus* (Friv.) Griseb.,**4**, 09.06.2021, P 2258  
*Pimpinella peregrina* L.,**9**,02.07.2021, P 2551  
*P. tragium* Vill. subsp. *polyclada* (Boiss. & Heldr.) Tutin,**5**,15.08.2018, P 1711  
*Scandix stellata* Banks et Sol.,**3**, 20.08.2018, P 1769  
**Apocynaceae**  
*Vinca herbacea* Waldst. & Kit., **11**,03.06.2015, P 1512  
**Asteraceae**  
*Achillea teretifolia* Willd., **End.**,(Ir.-Tur.),**4**, 14.08.2019, P 1988  
*Aster alpinus* L.,**1**,18.07.2020, P 2233  
*Bellis perensis* L. (Euro-Sib.),**6**, 15.07.2020, P 2182  
*Carduus nutans* L. subsp. *leiophyllus* (Petrovič) Stoj. & Stef.,**5**,14.06.2021, P 2311  
*C. pycnocephalus* L. subsp. *cinereus* (M.Bieb.) P.H.Davis,**5**,12.07.2021, P 2627  
*Carlina oligocephala* Boiss. & Kotschy subsp. *oligocephala*,**11**,10.08.2018, P 1785  
*Centaurea behen* L., (Ir.-Tur.),**3**, 17.06.2021, P 2352  
*Cirsium macrobotrys* (K.Koch) Boiss.,**1**, 10.08.2019, P 1896  
*C. rhocephalum* C.A.Mey., (Ir.-Tur.),**1**, 18.07.2020, P 2227  
*Cota coelopoda* (Boiss.) Boiss.,**11**, 03.06.2015, P 1537  
*Crepis dioritica* Schott & Kotschy ex Boiss. **End.**,(Ir.-Tur.),**1**,10.08.2019, P 1874  
*Cyanus segetum* Hill.,**4**,10.06.2021,P 2272  
*Geropogon hybridus* (L.) Sch.Bip., **End.**, (Medit.),**5**,14.06.2020, P 2103  
*Helichrysum chionophilum* Boiss. & Bal., **End.**,**1**,20.08.2018, P 1757  
*Inula acaulis* Schott et Kotschy ex Boiss. var. *caulescens* Náb.,**3**,14.08.2019, P 2000  
*I. aucherana* DC. (Ir.-Tur.),**3**,14.08.2019, P 2018  
*I. thapsoides* (Bieb ex Willd.) Sprengel subsp. *thapsoides*,**11**,01.08.2018, P 1760  
*Lactuca racemosa* Willd. (Euxine),**7**, 17.06.2021, P 2366  
*L. serriola* L. (Euro-Sib.),**9**,12.06.2021, P 2306  
*Leontodon hispidus* L. subsp. *hispidus* (Euro-Sib.),**9**,11.08.2019, P 1958  
*Matricaria chamomilla* L. var. *chamomilla*,**4**, 01.07.2021, P 2527  
*Onopordum bracteatum* Boiss. & Heldr. (E.Medit.),**8**,12.07.2021, P 2625  
*Pilosella cymosa* (L.) F.W.Schultz & Sch.Bip. subsp. *cymosa* (Euro-Sib.),**9**,17.06.2021, P 2469  
*P. pilisquama* (Nageli & Peter) Dostal, **7**, 17.06.2020, P 2119  
*Podospermum alpigenum* K.Koch,**7**, 10.08.2019, P 1895  
*P. canum* C.A.Mey.,**8**,20.08.2018, P 1771  
*P. radicosum* (Boiss.) Gemeinholzer & Greuter,**1**,18.07.2020, P 2225  
*Pulicaria dysenterica* (L.) Gaertn. subsp. *dysenterica*,**4**,25.06.2019, P 1846  
*Scorzonera rigida* Aucher ex DC. (Ir.-Tur.),**3**,15.08.2018, P 1714  
*S. sericea* Aucher ex DC., **End.**,**1**, 20.08.2018, P 1777  
*Sonchus asper* (L.)Hill subsp. *glaucescens* (Jord.) Ball ex Ball,**4**,05.06.2020, P 2085  
*S. oleraceus* (L.) L.,**5**,17.06.2021, P 2491  
*Tanacetum argenteum* (Lam.) Willd. subsp. *argentum* **End.**,(Ir.-Tur.),**3**, 15.08.2018, P 1716  
*Xeranthemum longepapposum* Fisch. & C.A.Mey. (Ir.-Tur.),**4**,04.07.2021, P2600  
**Boraginaceae**  
*Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *orientalis* (Ir.-Tur.),**4**,14.08.2019, P 1981  
*Anchusa strigosa* Banks & Sol. subsp. *strigosa*, **9**,24.06.2019, P 1838  
*Lappula barbata* (M.Bieb.) Gürke subsp. *barbata* (Ir.-Tur.),**7**,14.08.2019, P 2024  
*Moltkia caerulea* Lehm.,(Ir.-Tur.),**8**, 17.06.2020, P 2141  
*Myosotis incrassata* Guss. (E.Medit.),**2**, 11.08.2019, P 1947  
*Onosma alborosea* Fisch. &C.A.Mey.,**5**, 15.08.2018, P 1721  
*O. bracteosa* Hausskn. & Bornm., **End.**,(Ir.-Tur.),**12**,22.06.2015, P 1545  
*O. isaurica* Boiss. & Heldr. **End.**,(Ir.-Tur.),**5**,14.08.2019, P 2021  
*O. nana* DC. **End.**,(E.Medit.),**6**,04.07.2021, P 2602



- O. proballanthera* Rech.f. **End.**,(Ir.-Tur.),**9**, 02.07.2021, P 2546
- O. taurica* Willd.,**5**,14.08.2019, P 1999
- Paracaryum hirsutum* Boiss., (Ir.-Tur.),**4**, 01.07.2021, P 2541
- P. racemosum* (Schreber) Britten var. *scabridum* (Rech.f.) R.R.Mill **End.**, (Ir.-Tur.),**6**,14.08.2019, P 2013
- Brassicaceae**
- Aethionema erzincanum* Kandemir & Aytaç **End.**, (Ir.-Tur.),**2**,11.08.2019, P 1939
- Alyssum alyssoides* (L.)L.,**8**,04.07.2021,P2588
- A. hirsutum* M.Bieb.,**4**,17.06.2021, P 2357
- A. lepidotum* Boiss.,**End.**,**3**,14.08.2019,P 1990
- Arabis nova* Vill. subsp. *nova*,**6**, 01.07.2021, P 2537
- Barbarea vulgaris* R.Br.,**10**,29.04.2015, P 1496
- Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.,**4**, 12.06.2021, P 2307
- Chorispora tenella* (Pall.) DC.,**5**,01.07.2021, P 2532
- Crambe orientalis* L. var. *orientalis* (Ir.-Tur.),**5**, 17.06.2020, P 2122
- Didymophysa aucheri* Boiss.,**1**,18.07.2020, P 2204
- Eruca vesicaria* (L.) Cav. subsp. *vesicaria*,**4**, 17.06.2021, P 2395
- Lepidium perfoliatum* L.,**4**,14.06.2021, P 2325
- Nasturtium officinale* R.Br.,**7**,17.06.2021, P 2458
- Physocardamum davisii* Hedge, **End.**, (Ir.-Tur.),**6**,10.08.2019, P 1879
- Pseudosempervivum sempervivum* (Boiss. & Balansa) Pobed.,**End.**,**2**,19.08.2018, P 1743
- Sameraria armena* (L.) Desv. (Ir.-Tur.),**12**, 25.06.2015, P 1555
- Campanulaceae**
- Asyneuma virgatum* (Labill.) Bornm. subsp. *virgatum*,**12**,09.08.2018, P 1754
- Campanula rapunculoides* L. subsp. *cordifolia* (K.Koch) Damboldt,**1**, 18.07.2020, P 2202
- Caprifoliaceae**
- Cephalaria hirsuta* Stapf (Ir.-Tur.),**3**, 14.08.2019, P 2002
- Caryophyllaceae**
- Gypsophila adenophylla* Barkoudah **End.**,(Ir.-Tur.),**3**,14.08.2019, P 2026
- Silene bupleuroides* L. subsp. *bupleuroides*, **2**, 11.08.2019, P 1971
- Telephium imperati* L. subsp. *orientale* (Boiss.) Nyman,**8**,14.08.2019, P 1984
- Cleomaceae**
- Cleome ornithopodioides* L., (E.Medit.),**7**, 12.06.2021, P 2305
- Cornaceae**
- Cornus sanguinea* L. subsp. *australis* (C.A.Mey.) Jáv. (Euro-Sib.),**5**,14.06.2021, P 2331
- Crassulaceae**
- Umbilicus intermedius* Boiss.,**9**,17.06.2020, P 2155
- Cyperaceae**
- Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla subsp. *maritimus*,**3**,18.07.2020, P 2212
- Carex oreophila* C.A.Meyer Ir.-Tur.,**1**, 10.08.2019, P 1873
- C. panicea* L.,(Euro-Sib.),**1**,18.07.2020, P 2219
- Cyperus fuscus* L.,(Euro-Sib.),**4**,10.08.2019, P 1888
- Isolepis setacea* (L.)R.Br.,**1**,20.08.2018, P 1751
- Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla subsp. *lacustris*,**8**,11.08.2019, P 1953
- Fabaceae**
- Astracantha condensata* (Ledeb.) Podlech, **End.**,(Ir.-Tur.),**1**,20.08.2018, P 1779
- A. microcephala* (Willd.) Podlech,**2**, 19.08.2018, P 1728
- Astragalus aduncus* Willd. subsp. *aduncus* (Ir.-Tur.),**1**,10.08.2019, P 1902
- A. angustifolius* Lam. subsp. *angustifolius* (Ir.-Tur.),**3**,11.08.2019, P 1936
- A. anthylloides* Lam.,**End.**,(Ir.-Tur.),**1**, 10.08.2019, P 1890
- A. nezaketiae* A.Duran & Aytaç,**End.**, (Ir.-Tur.),**2**,11.08.2019, P 1954
- A. vaginans* DC., **End.**,**1**,10.08.2019, P 1898
- Dorycnium pentaphyllum* Scop. subsp. *herbaceum* (Vill.) Rouy,**5**,17.06.2021, P 2415
- Lathyrus sativus* L.,**4**,15.07.2020, P2181
- Medicago orbicularis* (L.) Bartal.,**4**,10.06.2021, P 2269
- Onobrychis caput-galli* (L.) Lam.,(Medit.), **2**, 19.08.2018, P 1740
- O. montana* DC. subsp. *cadmea* (Boiss.) P.W.Ball,**1**,10.08.2019, P 1906
- Tragacantha densifolia* (Lam.) Kuntze, **End.**,(Ir.-Tur.),**1**,10.08.2019, P 1922
- Trifolium angustifolium* L. subsp. *angustifolium*,**4**,17.06.2021, P 2391

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1040646

- T. argutum* Sol.,**4**,05.06.2020, P 2078  
*Trigonella coerulescens* (M.Bieb.) Halacsy (Ir.-Tur.),**5**,10.07.2021, P 2617  
*Vicia canescens* Labill. subsp. *variegata* (Willd.) P.H.Davis (Ir.-Tur.),**5**, 10.07.2021, P 2618  
*V. tenuifolia* Roth subsp. *elegans* (Guss.) Nyman,**7**,17.06.2020, P 2148
- Fagaceae**  
*Quercus hartwissiana* Steven (Euxine),**3**, 14.06.2021, P 2330
- Geraniaceae**  
*Erodium absinthoides* Willd. subsp. *armenum* (Trautv.) Davis (Ir.-Tur.),**1**,18.07.2020, P 2218
- Hypericaceae**  
*Hypericum armenum* Jaub. & Spach (Ir.-Tur.),**4**,10.08.2019, P 1913  
*H. linarioides* Bosse subsp. *linarioides*,**5**, 19.08.2018, P 1730  
*H. triquetrifolium* Turra,**9**,04.07.2021, P 2565  
*H. venustum* Fenzl.,**7**,24.06.2019, P 1835
- Iridaceae**  
*Crocus suworowianus* K.Koch,**2**,10.09.2020, P 2248
- Juncaceae**  
*Luzula forsteri* (Sm.) DC. subsp. *forsteri* (Euro-Sib.),**1**,10.08.2019, P 1894
- Lamiaceae**  
*Ballota nigra* L. subsp. *nigra* (Euro-Sib.),**1**, 10.08.2019, P 1925  
*Lamium orientale* (Fisch.&C.A.Mey.) E.H.L. Krause **End.**,(Ir.-Tur.),**8**, 11.08.2019, P 1956  
*Marrubium parviflorum* Fisch. & C.A. Mey. subsp. *parviflorum* (Ir.-Tur.),**1**,10.08.2019, P 1886  
*Nepeta nuda* L. subsp. *nuda*,**12**,02.08.2018, P 1752  
*N. racemosa* Lam. subsp. *racemosa* (Ir.-Tur.),**1**,10.08.2019, P 1875  
*N. stricta* (Banks & Sol.) Hedge & Lamond,**12**, 03.06.2015, P 1540  
*Stachys annua* (L.) L. subsp. *ammophila* (Boiss.&Blanche) Sam., (E.Medit.),**1**, 10.08.2019, P 1899  
*S. cretica* L. subsp. *garana* (Boiss.) Rech.f. (Ir.-Tur.),**3**,14.08.2019, P 2032  
*Ziziphora persica* Bunge (Ir.-Tur.),**8**, 17.06.2021, P 2399
- Liliaceae**  
*Gagea villosa* (M.Bieb.) Sweet (Medit.),**3**, 20.05.2020, P 2054
- Malvaceae**  
*Alcea apterocarpa* (Fenzl) Boiss., **End.**, (Ir.-Tur.),**12**,10.08.2018, P 1773  
*A. calvertii* (Boiss.) Boiss., **End.**,(Ir.-Tur.),**5**, 17.06.2021, P 2501  
*Tilia rubra* DC. subsp. *caucasica* (Rupr.) V. Engl., (Euxine),**7**,12.06.2021, P 2297
- Orchidaceae**  
*Cephalanthera rubra* (L.)Rich.,**3**,17.06.2021, P 2436  
*Dactylorhiza viridis* (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase,**7**,17.06.2021, P 2475  
*Epipactis veratrifolia* Boiss. & Hohen., (Ir.-Tur.),**3**,14.08.2019, P 2027  
*Orchis anatolica* Boiss.,(E.Medit.),**3**, 17.06.2021, P 2371
- Papaveraceae**  
*Corydalis oppositifolia* DC. subsp. *oppositifolia* **End.**,**6**,15.07.2020, P 2174  
*Fumaria officinalis* L.,**12**,29.04.2015, P 1486  
*F. parviflora* Lam.,**11**,29.04.2015, P 1487  
*Glaucium corniculatum* (L.) Curtis,**12**, 12.06.2016, P 1600
- Plantaginaceae**  
*Plantago maritima* L. subsp. *maritima*,**4**, 29.06.2021, P 2509
- Plumbaginaceae**  
*Acantholimon venustum* Boiss. var. *venustum* (Ir.-Tur.),**1**,10.08.2019, P1909
- Poaceae**  
*Alopecurus arundinaceus* Poir.,(Euro-Sib.),**5**, 20.08.2018, P 1768
- Polygonaceae**  
*Atraphaxis spinosa* L.,(Ir.-Tur.),**7**, 10.08.2019, P 1926
- Primulaceae**  
*Cyclamen coum* Mill. subsp. *coum*,**3**, 15.08.2018, P 1725
- Ranunculaceae**  
*Adonis aestivalis* L. subsp. *aestivalis*,**12**, 29.04.2015, P 1492  
*A. cyllenea* Boiss., Heldr. & Orph. var. *parvadraca* Boiss., **End.**,**6**,01.06.2019, P 1809  
*Delphinium crispulum* Rupr.,**1**,10.08.2019, P 1893  
*D. dasystachyum* Boiss. & Balansa **End.**,(Ir.-Tur.),**3**,20.08.2018, P 1788
- Resedaceae**  
*Reseda lutea* L. subsp. *lutea*,**9**,17.06.2020, P 2125

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1040646

### Rosaceae

- Alchemilla persica Rothm.,**6**,15.06.2021, P 2338  
 Potentilla erecta (L.) Raeusch. subsp. erecta,**4**, 17.06.2021, P 2376  
 P. geronioides (Ir.-Tur.),**2**,19.08.2018, P 1737 P. pulvinaris Fenzl., **End.**,**1**,20.08.2018,P 1778  
 Prunus armeniaca L.,**5**,12.06.2021, P 2290  
 P. prostrata Labill.,(Medit.),**3**,10.07.2019, P 1858  
 P. spinosa L.,(Euro-Sib.),**5**,17.06.2021, P 2495  
 Pyracantha coccinea M.Roem. var. coccinea,**4**, 12.06.2021, P 2287

### Santalaceae

- Thesium billardierei Boiss.,(Ir.-Tur.),**7**, 04.07.2021, P 2610

### Sapindaceae

- Acer hyrcanum Fisch. & C.A.Mey. subsp. hyrcanum (Euro-Sib.),**9**,17.06.2021, P 2419

### Saxifragaceae

- Saxifraga sibirica L.,**1**,10.08.2019, P 1907

### Smilacaceae

- Smilax excelsa L.,(Medit.),**4**,17.06.2021, P 2353

### Solanaceae

- Datura stramonium L.,**5**,02.06.2020, P 2066  
 Solanum dulcamara L.,(Euro-Sib.),**11**, 09.08.2018, P 1768

### Violaceae

- Viola odorata L.,**12**,29.04.2015, P 1485

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan bu araştırma sonucunda elde edilen verilerle daha önce Tunceli'de yapılmış flora çalışmalarına ait literatürler (Davis, 1985; Davis, 1988; Güner ve ark., 2000; Yıldırım, 1995; Yüce Babacan ve Eker, 2017; Yüce Babacan ve ark., 2017; Armağan, 2018; Armağan, 2020) karşılaştırıldığında; 41 familyaya ait 134 cins; bu cinslere ait 177 taksonun Tunceli ili için yeni kayıt olduğu tespit edilmiştir. Endemik bitki sayısı 32'dir. Bitkilerin fitocoğrafik dağılımları sırasıyla; 51'i (%28,8) İran-Turan; 19'u (%10,7) Avrupa-Sibirya; 14'ü (%7,9) Akdeniz; 93'ü (%52,6) ise Geniş yayılışlı ve Bilinmeyen olduğu görülmektedir. En fazla taksona Asteraceae (33), Apiaceae (20), Fabaceae (18), Brassicaceae (16) ve Boraginaceae (13) familyaları sahiptir. Çalışma sonucunda Tunceli ilinin bitki biyoçeşitliliğine katkı sağlandığını düşünmekteyiz.

## TEŞEKKÜR

Arazi çalışmaları sırasında yardımcı olan Zeynel Duman, Kemal Güneşli ve Zülfü Çavuş'a teşekkür ederim.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/ Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.


## KAYNAKLAR

- Armağan, M. (2018). Petaloid Monocotyledonous Flora of Tunceli Province (Turkey). Hacettepe J. Biol. & Chem., 46 (2):199–219.  
 Armağan, M. (2020). The explorations on the flora of Tunceli (Turkey). Anatolian Journal of Botany, 4(1):11-56.  
 Davis, P.H. (ed.). (1965 – 1985). Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 1 – 9, Edinburgh Univ. Press. Edinburgh.  
 Davis, P.H. (ed.). (1988). Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Edinburgh Univ. Press., (supple. 1), Vol. 10, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.  
 Duran, A., ve Aytaç, Z. (2016). Astragalus nezaketiae (Fabaceae), a new species from Turkey. Annales Botanici Fennici, 49(5): 381-385.  
 Fırat, M. (2017). Allium hoshabicum a new species of A. sect. Codonoprasum (Amaryllidaceae) from Van (Turkey). Phytotaxa, 312(1):129-134.  
 Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Baser, K.H.C. (2000). Flora of Turkey and the East Aegean Islands, (supple. 2), Vol. 11, Edinburgh Univ. Press., Edinburgh.  
 International plant names index (IPNI), (2021). <https://www.ipni.org>.  
 Kandemir, A., Aytaç, A. ve Fişne, A.Y. (2017). Aethionema erzincanum (Brassicaceae), a new species from Turkey. Annales Botanici Fennici, 54:1-5.  
 Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikler (MGM), (2021).<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme>  
 The Plant List (TPL), (2021). <https://www.theplantlist.org>.  
 Yıldırım, Ş. (1995). Flora of Munzur Dağları (Erzincan-Tunceli). Ot Sistematik Botanik Dergisi, 2(1):1-78.  
 Yüce Babacan, E. ve E., Eker, İ. (2017). Munzur Vadisi (Tunceli) ve yakın çevresinin geofit florası. Bağ Bahçe Bilim Dergisi, 4(1):31-49.  
 Yüce Babacan, E., Vitek, E. ve Çakılcıoğlu, U. (2017). Contributions to the flora of Tunceli (Turkey).

## Compatibilizer Effect on Optical Properties of Immiscible PMMA/PS Blends

Ersen Yılmaz

Munzur University, Tunceli Vocational School, Department of Machinery and Metal Technology, Tunceli, Turkey

ersenyilmaz@munzur.edu.tr 

Received date:07.01.2022, Accepted date: 16.02.2022

### Abstract

Immiscible polymethyl methacrylate/polystyrene (PMMA/PS) mixtures with various maleic anhydride-styrene-methyl methacrylate (MAStMMA) compatibilizer ratio (0, 2, 4, 6, 8 and 10) % were obtained by solution casting. The spectral results showed that the optical constants such as refractive index (n), extinction coefficient (k) and absorption coefficient increase with increasing terpolymer compatibilizer ratio. On the other hand, the optical energy gap  $E_g$  showed an inverse trend to concerning optical constants. The lowest observed energy gap was between 8 and 10 % compatibilizer ratio.

**Keywords:** compatibilization, maleic anhydride, optical constants, polymer blending

## Karışmaz PMMA/PS Harmanlarının Optik Özelliklerine Uyulaştırıcı Etkisi

### Öz

Karışmayan polimetil metakrilat/polistiren (PMMA/PS) harmanları değişik maleik anhidrit-stiren-metil metakrilat (MAStMMA) uyulaştırıcı oranı (0, 2, 4, 6, 8 ve 10) eklenerek çözüldüden döküm yoluyla elde edilmiştir. Spektral sonuçlar, kırılma indisi (n), sönmüm katsayısı (k) ve absorpsiyon katsayısı ( $\mu$ ) gibi optik sabitlerin terpolimer bazlı uyulaştırıcı ilavesiyle arttığını göstermiştir. Diğer yandan optik enerji boşluğu  $E_g$ , anılan optik sabitlere göre zıt bir eğilim göstermiştir. Gözlenen en düşük enerji boşluğu %8 ile %10 uyulaştırıcı oranı arasında belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** maleik anhidrit, optik sabitler, polimer harmanlama, uyulaştırma,

### INTRODUCTION

Polymer blending is a simple and efficient technique in the polymer industry for producing new materials with more advanced physical and thermal properties. Compatibilization of various polymers to obtain further materials with different physical properties is of great significance to the plastics industry. The blends thus formed exhibit properties superior to any of the individual polymers. Knowledge of the compatibilization and rheological behavior of polymer mixtures is essential for controlling the properties of the newly formed materials. (Boztug&Yılmaz, 2007; Imren et al., 2008; Imren, 2010; Kumar et al., 2011; Abdullah et al., 2010)

The linear variation of the refractive index values of polymer-polymer mixtures indicates miscibility. Therefore, the effect of the compatibilizer on miscibility improves many properties of polymer mixtures, such as optical and mechanical.

(Khan&Baloch, 2014; Imren Koç&Koç, 2016; Imren Koç et al., 2019)

In recent research, polymers' optical and electrical characteristics have attracted much consideration in their use in optical and electronic apparatus. Applications of polymeric mixtures in optical devices are defined by their optical properties such as refractive indices, transmission, dispersion and optical coefficients.(Alwan, 2012; Sultanova et al., 2013) Calculation of the optical constants of polymers is important essential for various applications such as solar cells, diodes made of polymeric material, electrochemical cells and optical systems.(Alias et al., 2013; Jang et al., 2017; Sultanova, 2016) Due to the widespread use of polymers in daily life, there are many studies aimed at improving certain optical and electrical properties (Kim et al., 2013; Nawar et al., 2014). According to their optical properties, PMMA and PS are most often used to manufacture optical lenses and optical devices

for laser-active media. (Najeeb et al., 2014; Shahin et al., 2019)

The present study involves the compatibilization of polystyrene with amorphous and a rigid polymer, poly (methyl methacrylate) and to produce (PMMA/PS) by adding different compatibilizer ratios and to examine its optical properties for optoelectronic applications. The used terpolymer compatibilizer may be expected to improve the blend's mechanical and optical properties.

## MATERIAL AND METHODS

Maleic anhydride Sigma Aldrich brand is purified by recrystallization in anhydrous benzene. Styrene is a Merck brand chemical purified by vacuum distillation. Methyl methacrylate a Merck branded product and used after purification by low-pressure distillation. In our previous study (Yilmaz, 2022) MASTMMA terpolymer was synthesized at our laboratory. Polymethylmethacrylate (PMMA) medium mol weight, a Sigma product. Polystyrene (PS) medium mol weight, a PETKIM, Turkey product. Tetrahydrofuran (THF) a Merck product was at analytical grade.

PMMA/PS films and blends containing compatibilizer were prepared using the solution casting method. The films containing 0,2,4,6,8 and 10 % w/w MASTMMA terpolymer compatibilizer were dissolved in a glass tube with a predetermined (Soygun et al., 2013) co-solvent tetrahydrofuran (THF) and incubated for one night. The obtained viscous and clear solutions were poured into teflon petri dishes. After the solvent evaporation, the films were scraped and kept in oven at 40 °C for 3 hours. The thickness of the obtained thin films was measured using a micrometer. The absorption and transmittance spectra were recorded in wavelength interval 200-800 nanometer using double beam Optima SP-3000 spectrophotometer.

## Theoretical Approach

In an experiment, the absorption coefficient ( $\alpha$ ) can be calculated from a simple equation :

$$\alpha = [1/d \ln[(1-R)^2 / T]] \quad (1)$$

where d is thickness of the specimen, R and T are the reflection and transmission. If transmission and reflection are not available and we have Absorbance (A), this equation transform to:

$$\text{absorption coefficient } (\alpha) = 2,303 A/d \quad (2)$$

where (A) is absorbance of the sample and (d) is thickness of the film.

The  $E_g$  value can be found by using the Tauc equation (Aly et al., 2012; Tauc, 1974), which is given below:

$$(\alpha \cdot hv) = \beta(hv - E_g^{opt})^r \quad (3)$$

here hv is the photon energy, where:

$$hv(\text{eV}) = 1241 / [\lambda (\text{nm})] \quad (4)$$

Where  $\beta$  is an independent parameter of photon energy,  $hv = 1241 / \lambda$  for the individual transitions,  $E_g^{opt}$  is the optical energy gap, and r is the type of the transition. The energy gap value is determined by projecting a tangent to the resulting curve towards the x-axis intersected by it at the point  $(\alpha hv)^{1/n} = 0$ , representing the value of the energy gap. The value of n is dependent on the electronic transition type. Where:

- r= 1/2 for direct allowed transition,
- r= 2 for indirect allowed transition,
- r= 3 for direct forbidden transition and,
- r= 3/2 indirect forbidden transition.

The absorption (A) and reflectance (R) parameters can be determined by UV-Vis double beam spectrophotometer. The relation between refractive index (n) and reflectance (R) is;

$$R = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2} \quad (5)$$

The refractive index calculated by the formula;

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \quad (6)$$

The extinction coefficient was determined with the formula;

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (7)$$

The optical conductivity determined via the formula

$$\sigma_{opt} = \frac{\alpha n c}{4\pi} \quad (8)$$

## RESULTS AND DISCUSSION

Some characteristic properties of the polymers used are given in Table 1. As can be seen from the Table 1, all three polymers used in the experiment are polymers with medium mol weight. In addition, the

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1054866

glass transition temperatures ( $T_g$ ) are close to each other.

From Figure 1. it was revealed that a strong absorption between 340 nm and 385 nm for the mixtures. It is seen that increasing the ratio of the used compatibilizer leads to increasing the absorption peak intensity and very small shifts in the peak position for all amounts of the added compatibilizer. These shifts in wavelength mean there are some weak electronic interactions between the components and the compatibilizer used. This effect becomes more prominent as the amount of compatibilizer increases. In addition, the reason for increase in absorbance is the free electrons in the monomers of the added compatibilizer. (Najeeb et al., 2014)

Figure 2 shows the change in the absorption coefficients ( $\alpha$ ) which are calculated by equation (2) of the blends with the added compatibilizer. The absorption coefficients of PS/PMMA mixtures containing compatibilizer were read at 385 nm. It was observed that the absorption coefficient increased up to 8% and slightly decreased by 10% with the addition of compatibilizer. It can be said that the contribution of the added compatibilizer to the value of the absorption coefficient is low, but the general trend is towards increasing it.

Figures 3 and 4 are figures related to the direct energy ( $r=1/2$ ) gap calculated using the Tauc equation (eq. 3). From the curves and Fig. 4 graph, it is seen that the lowest  $E_g$  values of the mixtures are 8% and 10% compatibilizer added. And in general, as the compatibilizer ratio increases, the decreasing trend of  $E_g$  is also noticeable. This was interpreted as the double bonds and aromatic regions of the added compatibilizer reduce the bond length variation along the backbone of the polymer mixture, thus reducing the band gap ( $E_g$ ).

From figure 5 we observe an increase in the refractive index while the compatibilizer ratio increases. The highest refractive index values of the polymer blends are seen at 8 and 10 percent compatibilizer. In polymer mixtures the high refractive index values could be seen because of two reasons; thermal annealing and blending of materials. (Kim et al., 2016) In this case, since there is no thermal process, it is possible to say that the mixture formation provides this. Already in previous studies (Dogan&Kismet, 2021; Yilmaz, 2022),

MAStMMA compatibilizer has proven to be a good mixing agent for PMMA based blends.

The relation between extinction coefficient and compatibilizer ratio is shown in Fig. 6. The lowest value of extinction coefficient for the polymer blends was measured at zero compatibilizer ratio. It is clear from figure 6 that increasing the ratio of compatibilizer in the mixture of PS and PMMA leads to an increase in extinction coefficient ( $k$ ) values.

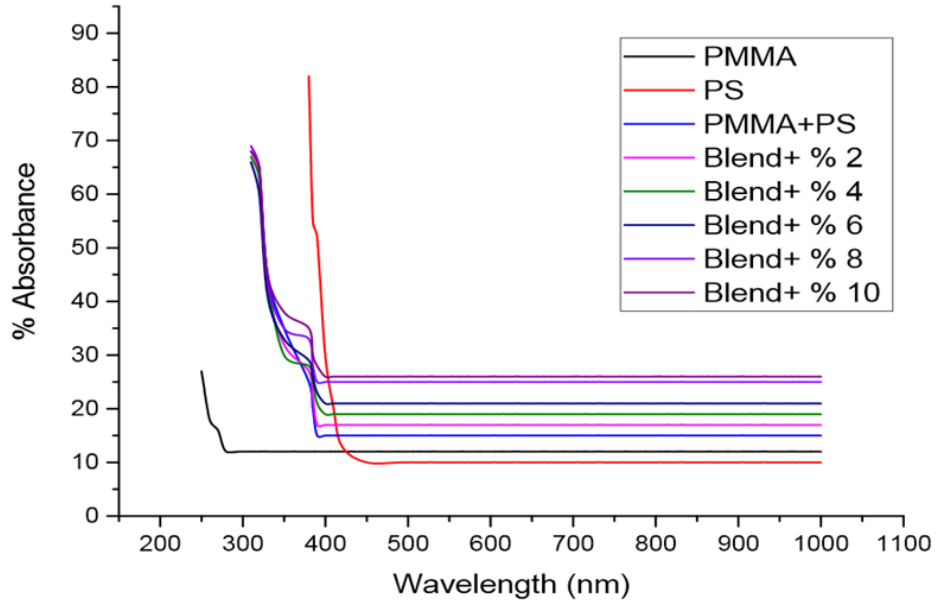


Figure 1. UV-Vis spectrum of pure polymers and compatibilizer added blends

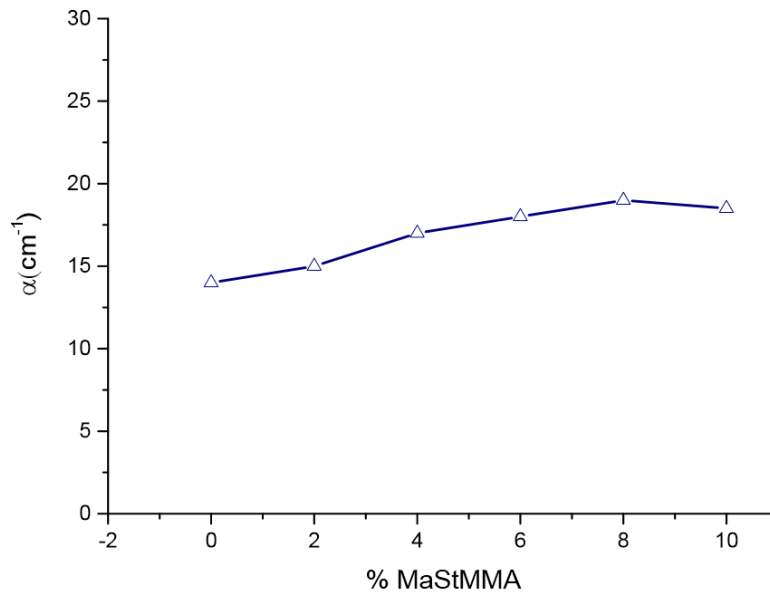


Figure 2. Absorption coefficient of the blends as a function to the compatibilizer % ratio

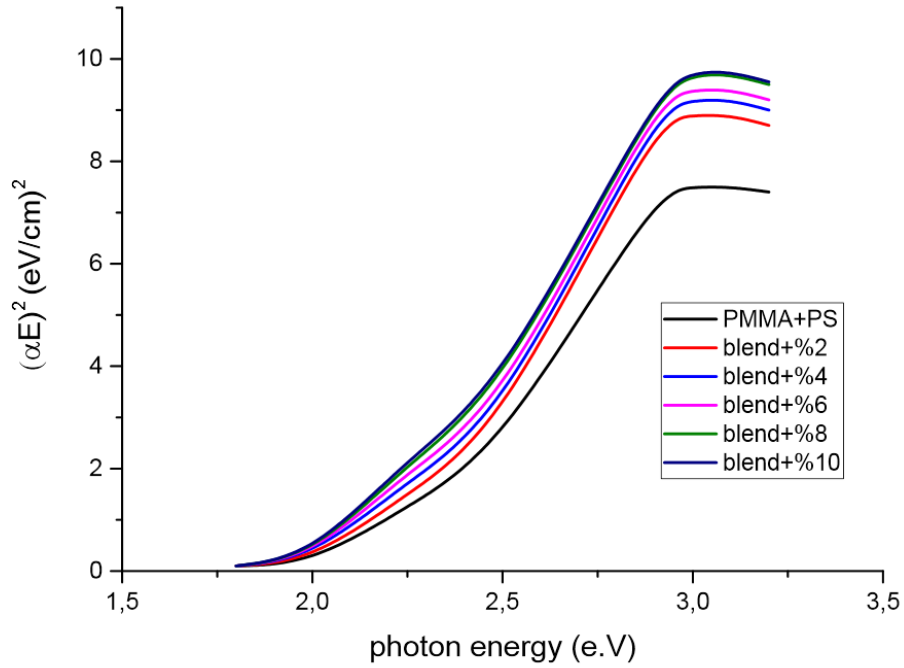


Figure 3. The relation between  $(\alpha E)$  square and the photonenergy for the polymer blends

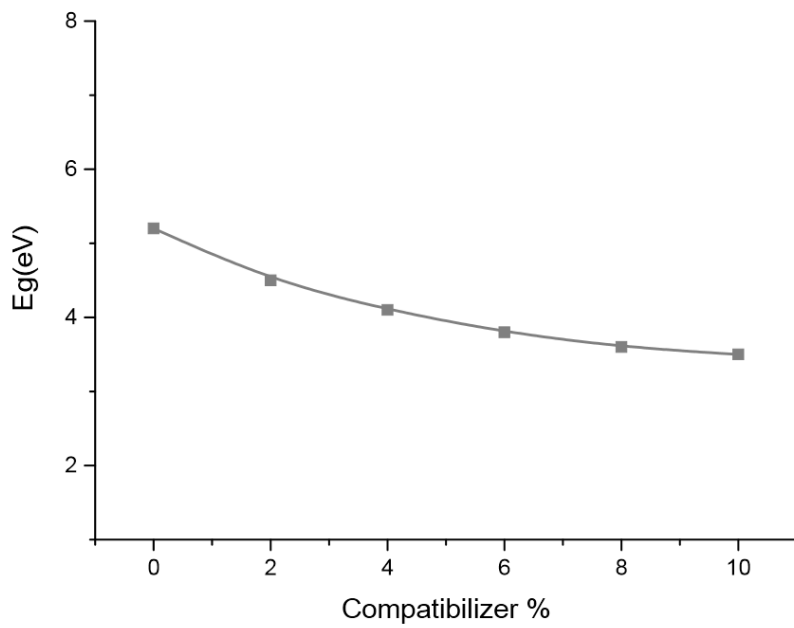


Figure 4. Relation between the Energy gap and compatibilizer percent



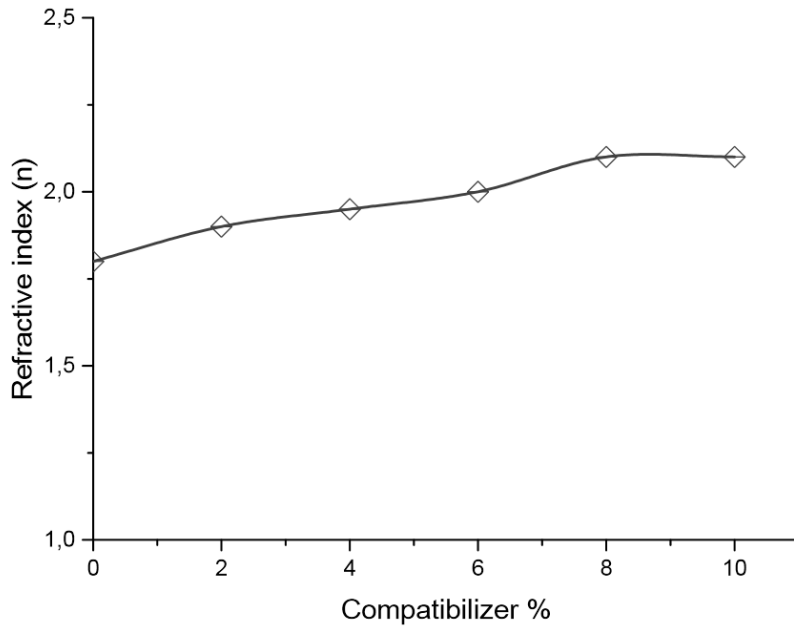


Figure 5. Relation of refractive index MASTMMA compatibilizer ratio

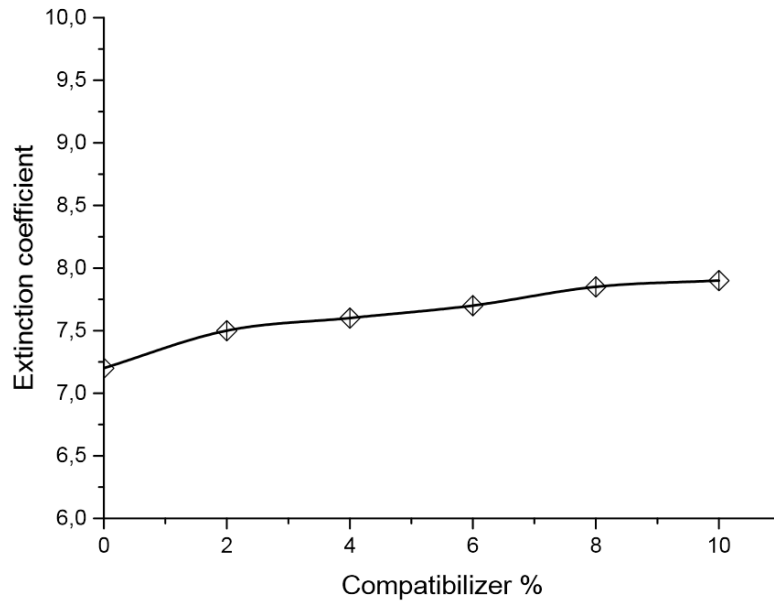
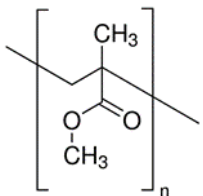
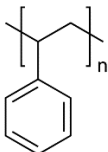
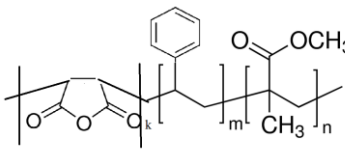


Figure 6. Extinction coefficient of the blends at different compatibilizer ratios

**Table 1.** Some characteristic properties of the polymers used

Material	Formula	average Mw	d(g/mL)	Tg (°C)
PMMA		120.000	1.188	105
PS		192.000	1.040	94
MaStMMA		60.000	---	103

**CONCLUSION**

Two different polymers with very high usage areas were mixed using a terpolymer compatibilizer that was synthesized in our laboratory. Changing the ratio of the new compatibilizer were led to enhancing some of the optical properties. The absorbance, absorption coefficient, extinction coefficient, and refraction index of the PS/PMMA blends compatibilized with a new MASTMMA terpolymer were found to be increasing with the increasing of compatibilizer concentration. Additionally, the new compatibilizer led to improving the energy gap of the PS and PMMA mixtures via its molecular feature.

**CONFLICT OF INTEREST**

The Author report no conflict of interest relevant to this article.

**RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT**

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

## REFERENCES

- Abdullah O. Gh., Tahir D. A., Aziz S-A. B., (2010), Optical and Electrical Properties of Polyvinylchloride (PVC) Films, *Iraqi Journal of Science* 51 295-300
- Alias, A. N., Zabidi, Z. M., Ali, A. M. M., Harun, M. K., and Yahya, M. Z. A., (2013), Optical characterization and properties of polymeric materials for optoelectronic and photonic applications. *International Journal of Applied Science and Technology*, 3 (5), 11-38
- Alwan, T.J., (2012), Gamma irradiation effect on the optical properties and refractive index dispersion of dye doped polystyrene films, *Turk. J. Phys.*, 36, PP. 377-384
- Aly K.A., Abd Elnaem A. M., Afify N., Abousehly A. M., (2012), Improvement of the electrical properties of Se<sub>3</sub>Te<sub>1</sub> thin films by In additions, *J. Non Cryst. Solids* 358, 2759.
- Boztug A., Yilmaz E., (2007), Effects of reactive terpolymer containing maleic anhydride on thermomechanical properties of poly(vinyl chloride) based multicomponent blends, *Materials Research Innovations*, 11(3) , 158-160
- Imren D., Boztug A., Yilmaz E., Zengin H.B, (2008), Viscometric investigation of compatibilization of the poly(vinyl chloride)/poly(ethylene-co-vinyl acetate) blends by terpolymer of maleic anhydride-styrene-vinyl acetate, *Journal of Molecular Structure*, 891, 329-332
- Imren D., (2010), Compatibilization of immiscible poly(vinyl chloride) (PVC)/polystyrene (PS) blends with maleic anhydride-styrene-vinyl acetate terpolymer (MAStVA), *Journal of Molecular Structure* , 963, 245-249
- Imren Koç D., Koç M. L., (2016), Fuzzy viscometric analysis of polymer-polymer miscibility based on fuzzy regression, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 157, 58-66
- Imren Koç D., Özel Ergün N., Koç M. L., (2019), Prediction of miscibility of sodium alginate/poly(ethylene glycol) blends by fuzzy systems, *Journal the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, of 34(2), 635-646
- Jang Yea-Fen, Lin Tzu-Chun , Guo Jih-Yan , Chiang Chien-Ming F., Wu Ming-Lun, Shen Hsin-Yi, Chen Tsung-Cheng, Yang Zu-Po, Lee Ya-Ju, Su Hai-Ching, Chang Chih-Hao, Liu Shun-Wei, Enhancing extracted electroluminescence from light-emitting electrochemical cells by employing high-refractive-index substrates, *Organic Electronics*, 51, 149-155
- Khan Z., Baloch M.K., (2014), Effect of solvent on the miscibility of polystyrene/poly(styrene-co-acrylonitrile) blends at different temperatures, *J. Macromol. Sci., Part B: Phys.* 53, 1027–1049
- Kim S., Park H., Nam G., Yoon H., Leem J., (2013), Improved optical and electrical properties of sol-derived boron-doped zinc oxide thin films, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 67, 580-591
- Kim, J., Kim, H., Kim, B., Highly tunable refractive index visible-light metasurface from block copolymer self-assembly. *Nat. Commun* 7, 12911
- Kumar K.K., M. Ravi, Y. Pavani, S. Bhavani, A.K. Sharma, V.V.R. Narasimha Rao, (2011) Investigations on the effect of complexation of NaF salt with polymer blend (PEO/PVP) electrolytes on ionic conductivity and optical energy band gaps, *Physica B: Condensed Matter*, 406 (9), 1706-1712
- Najeeb H. N., Balakit A. A., Wahab G. A., (2014), Kodeary A. K., Study of the optical properties of poly (methyl methacrylate) (PMMA) doped with a new diarylethen compound, *Academic Research International*, 5(1), 48-56
- Nawar A. M., Abdel-Aal N., Said N., El-Tantawy F.M., Yakuphanoglu F., (2014), Improving the optical and electrical properties of Zinc Oxide thin film by Cupric Oxide dopant, *IOSR Journal of Applied Physics*, 6, 17-22
- Shahin A., Bachir W., El-Daher M. S., (2019), Polystyrene Microsphere Optical Properties by Kubelka–Munk and Diffusion Approximation with a Single Integrating Sphere System: A Comparative Study", *Journal of Spectroscopy*, (2019), Article ID3406319, 8 pages
- Soygun K., Şimşek S., Yılmaz E., and Bolayir G., (2013), Investigation of mechanical and structural properties of blend lignin-PMMA. *Adv Mater Sci Eng*, 2013: 1–6
- Sultanova N., Kasarova S., Nikolov I., (2016), Advanced applications of optical polymers, *Bulg. J. Phys.*, 43, 243-250
- Sultanova, N.G., Kasarova, S.N. & Nikolov, I.D., (2013), Characterization of optical properties of optical polymers. *Opt Quant Electron* 45, 221–232
- Tauc J., *Amorphous and Liquid Semiconductors*, Plenum, New York, 1974.
- Yilmaz E., (2022), Compatibilization of polyvinyl chloride - polymethyl methacrylate polymer blends with maleic anhydride-styrene-methyl methacrylate terpolymer *J. Appl. Polym. Sci.* 139(10), 51745
- Doğan A., Kismet Y. (2021). Gama Işımasının Kolza Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemenin Mekaniik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*. doi:10.29132/ijpas.996361

## The Mathematical characteristic of the Phase and Group Velocities of Pure Alfvén Wave in the E Region of the Ionosphere for Low Latitudes

M. Buğra Yeşil<sup>1</sup>, Kadri Kurt<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata University, Düzüçü Vocational School, Motor Vehicles and Transportation Technology Department, Rail Systems Machine Technology Program, Osmaniye, Turkey

<sup>2</sup>Batman University, Beşiri OSB Vocational School, Batman, Turkey

melikbugrayesil@osmaniye.edu.tr<sup>ID</sup>, \*kadridewani@gmail.com<sup>ID</sup>

Received date:10.02.2022, Accepted date: 13.04.2022

### Abstract

In this study, we mainly focus our attention on mathematical analysis of the phase and group velocities of low-frequency Alfvén waves in the E region of the ionosphere. According to observational conclusions it is known that the phase and group velocities of such waves are equal to each other when kinematic and magnetic viscosity are ignored. On the other hand, these velocities have different velocities when we take kinematic and magnetic viscosities into account.

Since it is very difficult to analyze the group velocity analytically, we plan to discuss its numerical solutions in our future investigation. Thus, in the present study, we focus on the features of phase velocity of low-frequency of Alfvén wave and analyze its nature in the E region of the ionosphere for low latitudes. we see that the trend of change of magnitudes of the phase velocities on on March 21<sup>st</sup> and June 21<sup>st</sup> resembles to the behavior of cosine function. Moreover, it is concluded that the magnitudes of real and imaginary parts of the corresponding solutions are larger than the ones obtained for March 21<sup>st</sup>. The main reason of this case may be higher electron production in the ionosphere in June.

**Keywords:** Alfvén waves, phase and group velocity, ionosphere

## Düşük Enlemlerde İyonosferin E bölgesinde Düşük Frekanslı Alfvén Dalgalarının Faz ve Grup Hızlarının Matematiksel Karakteristiği

### Özet

Bu çalışmada, dikkatimizi esasen İyonosferin E bölgesinde düşük frekanslı dalgaların faz ve grup hızlarının matematiksel analizini araştırmaya yönlendirdik. Elde edilen gözlemsel bulgulara göre, kinematik ve manyetik viskozite ihmal edildiğinde faz ve grup hızları böyle dalgalar için eşit değerlere sahip olmaktadır. Diğer yandan kinematik ve manyetik viskozite göz önüne alındığında ise faz ve grup hızları farklı değerler almaktadır.

Grup hızını analitik olarak analiz etmek oldukça zor olduğundan onun nümerik çözümlerini sıradaki araştırmamızda ele almayı planlıyoruz. Buradan hareketle sunulan bu araştırmamızda, temel olarak düşük frekanslı Alfvén dalgaları için faz hızının özelliklerine ve orta enlemlerde İyonosferin E-bölgesi (140 Km) için doğasının analiz edilmesine odaklanılmıştır. 21 Mart ve 21 Haziran'da faz hızlarının büyüklüklerinin değişim trendinin kosinüs fonksiyonunun davranışına benzediği görülmüştür. Öte yandan, karşılık gelen çözümlerin reel ve sanal kısımların büyüklüklerinin 21 Mart için elde edilenlerden daha büyük olduğu elde edilmiştir. Bu durumun esas nedeni İyonosferde Haziran ayındaki daha yüksek elektron üretimi olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Alfvén dalgaları, faz ve grup hızı, İyonküre

### INTRODUCTION

Until now, a large number of scientists have performed noteworthy studies about various properties, physical structure, and chemical structure of the Earth's ionosphere (Budden, 1988; Budden and Stott 1980; Hunsucker and Hargreaves 2003;

Kaladze et al., 2019; Ratcliffe 1959). Since the ionosphere has a conductive structure, the behavior of electromagnetic waves in a such environment under various conditions, have been studied in literature (Budden, 1988; Budden and Stott 1980; Hunsucker and Hargreaves 2003; Kaladze et al., 2019; Ratcliffe 1959; Richard, 2014; Rishbeth, 1973; Swanson, 1989; Timucin et al., 2019; Timucin et al., 2014; Unal et al.,

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1071119

2011; Yaşar, 2021; Yeşil et al., 2021; Yeşil and Sagir 2019; Yeşil 2006; Yeşil and Kurt 2019; Whitten and Popoff, 1971). But, low-frequency waves have been studied for a long time in ionosphere but these studies these studies are lacking due to some approaches (Richard, 2014; Rishbeth, 1973; Swanson, 1989; Timucin et al., 2019; Timucin et al., 2014; Unal et al., 2011; Yaşar, 2021; Yaşar, 2021; Yeşil et al., 2021; Yeşil and Sagir 2019; Yeşil 2006). Wave propagation in partially ionized plasma also plays an important role in the coupling between the ionosphere and magnetosphere. For example, the ionosphere may support very-low-frequency Alfvén wave which can be caused by a balance between the bulk fluid inertia and the deformation of the magnetic field. The change in momentum caused by the collision between the plasma and neutral particles facilitates the transfer of magnetic stress to neutrals. Therefore, at the low frequency limit relative to the neutral-ion collision frequency, the waves undergo very little attenuation throughout the ionosphere. The frequency of these waves are very low and below few Hz. At lower frequencies below certain collision frequencies, the plasma behaves like a fluid. Generally, the magnetic field is present in all plasmas and a good conductor. Therefore, the magnetic field frozen in the fluid moves with the fluid. In MHD (Manyeto-Hidrodynamic) equations, generally high and low beta ( $\beta = P / (B^2 / 2\mu_0)$ ) distinction is made. In which, P represents plasma pressure and  $(B^2 / 2\mu_0)$  magnetic pressure, respectively. If  $\beta \gg 1$ , then plasma pressure is bigger than magnetic pressure and plasma drags magnetic field, otherwise magnetic field drags plasma. When plasma drags the magnetic field, the stresses occurring in the plasma propagate with the sound waves. Otherwise, this stress propagates Alfvén waves (Richard, 2014; Richard, 2014; Rishbeth, 1973; Swanson, 1989; Timucin et al., 2019; Timucin et al., 2014; Unal et al., 2011; Yaşar, 2021; Yaşar, 2021; Yeşil et al., 2021; Yeşil and Sagir 2019; Yeşil 2006). Why is it important for us to study group and phase velocity? Because when the wave enters a medium, it can lose energy or take energy from the medium, such as the ionosphere plate. Especially in remote sensing methods, group and phase velocity are generally studied when it is important for information about how much energy a wave loses or gains in the environment.

In this paper, it has been studied the group and phase velocity for the accepted conditions in the

ionospheric plasma. As known, group carries energy in a wave, while phase velocity is the velocity of propagation of the wave in any direction. In many cases, it is the shape of a waveform. Sometimes the directions of group repetition and phase velocity are different. However, this information is not always correct if the wave is traveling in an absorbing medium. Many studies and experiments since the 1980s have shown that the group speed of laser light sent with specially prepared materials can exceed the speed of light in an air gap. In this case, faster-than-light communication is not possible because the signal speed remains slower than the speed of light in every way. It is also possible to reduce the group velocity to zero by stopping the current or creating a negative group velocity. In all cases, however, photons continue to propagate in the medium at the speed of light (Swanson, 1989; Timucin et al., 2019; Timucin et al., 2014; Unal et al., 2011; Yaşar, 2021; Yaşar, 2021; Yeşil et al., 2021; Yeşil and Sagir 2019).

#### THE COMPLEX PHASE AND GROUP VELOCITY OF LOW-FREQUENCY ALFVÉN WAVES FOR IONOSPHERIC PLASMA AT NORTHERN HEMISPHERE

It is well known that MHD equations governing a compressible viscous conduction fluid immersed in a magnetic field are given by;

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \mathbf{U}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho_m \frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \rho_m (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\nabla P + \mathbf{J} \times \mathbf{B} - \rho_{m0} \eta_k \nabla^2 \mathbf{U} \quad (2)$$

$$\nabla P = V_s^2 \nabla \rho_m \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} \quad (4)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (5)$$

$$\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B} = 0 \quad (6)$$

If equations 1,3,4,5 and 6 are substituted in equation 2 after mathematical manipulation, using each other, the momentum equation,

$$\rho_{m0} \frac{\partial u_1}{\partial t} + V_s^2 \nabla \rho_{m1} + \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B}_0 \times (\nabla \times \mathbf{B}_1) = 0 \quad (7)$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1071119

$$\frac{\partial \mathbf{B}_1}{\partial t} - \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}_0) - \eta_m \nabla^2 \mathbf{B}_1 = 0 \quad (8)$$

In which, all fields change as follow.

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_1(\mathbf{r}, t) \quad (9)$$

$$\rho_m(\mathbf{r}, t) = \rho_{m0} + \rho_{m1}(\mathbf{r}, t) \quad (10)$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{u}_1(\mathbf{r}, t) \quad (11)$$

Lowercase u is the fluid's velocity,  $\rho_m$  mass density, and B is the magnetic field. Under equilibrium conditions, the fluid is assumed to be spatially uniform with constant density  $\rho_{m0}$ , the equilibrium velocity is accepted zero and throughout the fluid the magnetic induction  $\mathbf{B}_0$  is uniform and constant (Swanson, 1989; Timucin et al., 2019; Timucin et al., 2014; Unal et al., 2011; Yaşar, 2021; Yaşar, 2021; Yeşil et al., 2021; Yeşil and Sagir 2019). If both electrical and fluid equations are used within each other (Equations (1-3)), Eq.(7) is obtained by, Some expressions in this equation, respectively,  $\omega$ : Wave Frequency,  $k$ = wave vector,  $V_A$ ; Alfvén Velocity and  $V_s$ ; Adiabatic sound speed

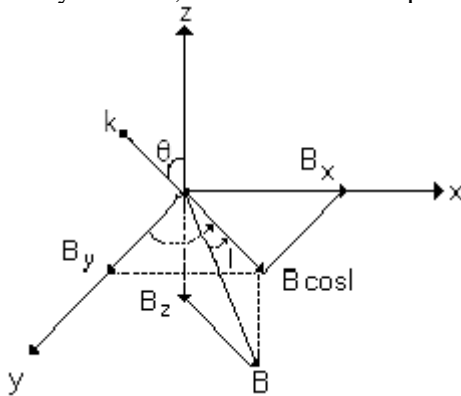


Figure1. The geometry of Earth's magnetic field for the Northern hemisphere [1-5,9-10].

$$\mathbf{B} = B_x \mathbf{a}_x + B_y \mathbf{a}_y + B_z \mathbf{a}_z \quad (12)$$

Where  $B_x = B_0 \cos I \sin d$ ,  $B_y = B_0 \cos I \cos d$  and  $B_z = -B_0 \sin I$ . I and d are the magnetic dip and the magnetic declination angles, respectively. Wave vector  $\mathbf{k} = k_y \mathbf{j} + k_z \mathbf{k} = k \sin(\theta) \mathbf{y} + k \cos(\theta) \mathbf{z}$ , Besides,  $V_A$  and components of its velocity by using the geometry of magnetic field in Fig.(1)

$$\mathbf{V}_A = \frac{\mathbf{B}}{\sqrt{\mu_0 \rho_{m0}}} = V_{Ax} \mathbf{i} + V_{Ay} \mathbf{j} + V_{Az} \mathbf{k} \quad (13)$$

In which  $V_{Ax} = V_A \cos I \sin d$ ,  $V_{Ay} = V_A \cos I \cos d$  and  $V_{Az} = -V_A \sin I$  are and  $V_s = (\gamma k_b T / \rho_m)^{1/2}$  (Adiabatic sound speed),  $\gamma$ , degrees of freedom,  $k_b$ =Boltzmann constant and  $T$ = Fluid temperature. If  $d=0$  becomes with respect to Fig.1, the phase velocity of Alfvén wave could be obtained as follow.

$$\frac{1}{V_p^4} \eta_m \eta_k - \frac{1}{\omega^2} + \frac{1}{V_p^2} \left\{ \left[ \left( \frac{V_A}{\omega} \right) (\sin(\theta - I)) \right]^2 + i \frac{1}{\omega} (\eta_k + \eta_m) \right\} = 0 \quad (14)$$

From here, after some mathematical operations, the propagation speed of Alfvén wave

$$\frac{1}{V_p^2} = \frac{-\mu \pm \left( K_{IR}^2 + K_{IS}^2 \right)^{1/2} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{2\eta_k \eta_m} + i \frac{-\chi \pm \left( K_{IR}^2 + K_{IS}^2 \right)^{1/2} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{2\eta_k \eta_m} \quad (15)$$

In which,  $\eta_k = \frac{nk_b T}{v}$  kinematic viscosity

$\eta_m = \frac{1}{\mu_0 \sigma_0}$  magnetic viscosity. This

speed(Eqn.(15)) is occurring in both the real and imaginary parts. The real part represents the progressing imaginary part of the wave, the damping part of the wave.

$$\left. \begin{aligned} K_{IR} &= \mu^2 - \chi^2 + 4\sigma \\ K_{IS} &= -2\mu\chi \\ \chi &= \frac{1}{\omega} (\eta_k + \eta_m) \\ \sigma &= \frac{\eta_k \eta_m}{\omega^2} \\ \mu &= \left[ \frac{V_A \sin(\theta - I)}{\omega} \right]^2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

If we rearrange the phase velocity equation above in terms of the wave propagation vector and we neglect fluid and magnetic viscosity, Eqn.(15) turns into the following expression.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1071119

$$\omega^2 = k^2 V_A^2 (\sin(\theta - I))^2 \text{ and } V_p^2 = V_A^2 (\sin(\theta - I))^2 \quad (17)$$

$$V_p^2 = \frac{B_0^2}{\mu_0 \rho_m} (\sin(\theta - I))^2 \quad (18)$$

The relationship between group and phase velocity are given by;

$$V_g = \frac{c}{n + \omega \frac{\partial n}{\partial \omega}} = V_p + k \frac{\partial V_p}{\partial k} \quad (19)$$

If  $\theta=I$  takes (perpendicular case), then from Eqn.(15) is obtained as follow

$$V_g = \frac{1}{\sqrt{\frac{-i(n_k + n_m)}{\omega(n_k \cdot n_m)} + \frac{-i(n_k + n_m)}{\omega(n_k \cdot n_m)}}} \quad (20)$$

According to Fig.1, Eqn.(15), when the magnetic field is parallel to the propagation vector ( $\mathbf{k}$ ),

That is;  $\theta=90+I$ , the phase velocity of Alfvén wave is obtained by

$$\frac{1}{V_p^2} = \frac{-\left[\left(\frac{V_A}{\omega}\right)^2\right] \pm \left[\frac{\pi_R \pm \sqrt{\pi_R^2 + \pi_I^2}}{2}\right]^{1/2}}{2\eta_k \eta_m} \quad (21)$$

$$+ i \frac{-\left[\left(\frac{1}{\omega}\right)(\eta_k + \eta_m)\right] \pm \left[\frac{-\pi_R \pm \sqrt{\pi_R^2 + \pi_I^2}}{2}\right]^{1/2}}{2\eta_k \eta_m}$$

$$\pi_R = \frac{V_A^4}{\omega^4} - \frac{1}{\omega^2} (\eta_k - \eta_m)^2, \quad (22)$$

$$\pi_I = \frac{1}{\omega} (\eta_k - \eta_m) \left(\frac{V_A}{\omega}\right)^2$$

$$\frac{1}{V_p^2} = \Pi_R + i\Pi_I \Rightarrow \frac{1}{V_p} = \sqrt{\Pi_R + i\Pi_I} = \Gamma_R + i\Gamma_I \quad (23)$$

$$\Gamma_{R1,2}^2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{-\left[\left(\frac{V_A}{\omega}\right)^2\right] \pm \left[\frac{\pi_R \pm \sqrt{\pi_R^2 + \pi_I^2}}{2}\right]^{1/2}}{2\eta_k \eta_m} \pm \left( \frac{-\left[\left(\frac{1}{\omega}\right)(\eta_k + \eta_m)\right] \pm \left[\frac{-\pi_R \pm \sqrt{\pi_R^2 + \pi_I^2}}{2}\right]^{1/2}}{2\eta_k \eta_m} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (24)$$

$$\Pi_R = \frac{-\left[\left(\frac{V_A}{\omega}\right)^2\right] \pm \left[\frac{\pi_R \pm \sqrt{\pi_R^2 + \pi_I^2}}{2}\right]^{1/2}}{2\eta_k \eta_m} \quad (25)$$

$$\Pi_I = \frac{-\left[\left(\frac{1}{\omega}\right)(\eta_k + \eta_m)\right] \pm \left[\frac{-\pi_R \pm \sqrt{\pi_R^2 + \pi_I^2}}{2}\right]^{1/2}}{2\eta_k \eta_m} \quad (26)$$

## NUMERICAL ANALYSIS AND RESULTS

In this context, the pure Alfvén waves for the considered conditions in Northern-hemisphere at E-region ( for height 140 km) of ionospheric plasma were calculated with low latitudes by using Eq.(16, 17-18), at hour 12.00 LT for 1990 year. We have studied special days March 21<sup>st</sup> (Northern and Southern Hemispheres. Sun rays fall at noon at 90° to the Equator. From this date, the sun's rays begin to fall perpendicular to the Northern Hemisphere. The nights begin to be longer than the days in the Southern Hemisphere) and June 21<sup>st</sup> (the Summer Solstice is the longest day of the year. The longest day affects not only the Northern hemisphere but also the Southern hemisphere. On this date, winter begins in the Southern Hemisphere. Longest night and shortest day in the Southern Hemisphere) for

Alfvén wave modes. The ionosphere parameters (16, 17-18) used for calculation were obtained by using the IRI model, according to the accepted conditions. We investigated the seasonal change of eqns. with respect to latitude for 12.00 LT. According to the results of the numerical calculations, the real and imaginary parts of the phase velocity for March

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1071119

21<sup>st</sup> are shown in figures 3 and 4 when the wave propagation vector is perpendicular and parallel to the magnetic field. If the magnetic field is parallel to the propagation vector ( $\theta=90+I$ ), it shows an approximately symmetrical variation for its perpendicularity( $(\theta=I)$ ). When ( $\theta=90+I$ ), the change of the real part of phase velocity approximately looks like the cosines function. The same trend is also seen when  $\theta = I$ . But it is symmetrical when the magnetic field is perpendicular to the propagation vector. That is, the imaginer part is maximum when  $k//B$  is, the magnitude of the real phase velocity is minimum when  $k$  is perpendicular to  $B$ . The trend of change with the latitude of the magnitude of the imaginary part of the phase velocity is similar to the real part but different in magnitude. It is slightly smaller than the real part (Fig.3). Actually, If the magnetic field is perpendicular or parallel to the wave propagation vector on June 21, the change in the phase velocity of the real and imaginary parts at mid-latitudes is as given in figures 4 and 5. accordingly, the latitude changes of both the real and imaginary parts are similar as a trend for the 21 March situation. However, on June 21, the values are expected to increase. It is likely that dynamic processes in the ionosphere are more frequent in this month since the sun's rays are more and ionization is more.

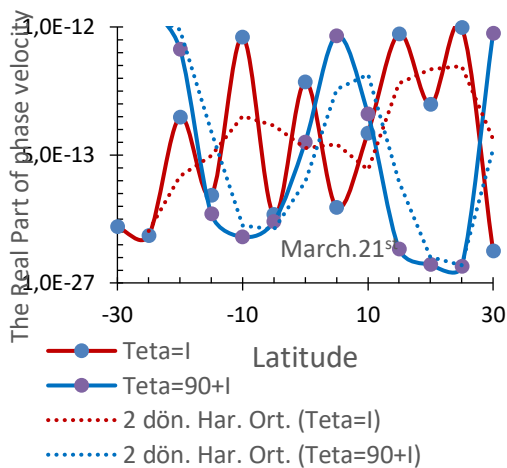


Fig.2. The real part of phase velocity of Alfvén waves  $k//B$  and  $k\perp B$  (March21, 12:00 LT).

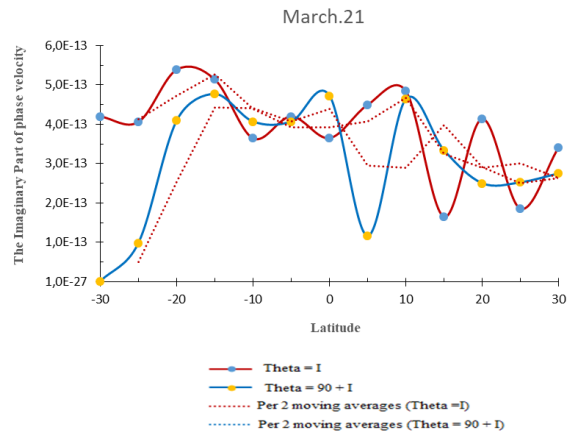


Figure 3. The imaginary part of phase velocity of Alfvén waves  $k//B$  and  $k\perp B$  (March21<sup>st</sup>, 12:00 LT).

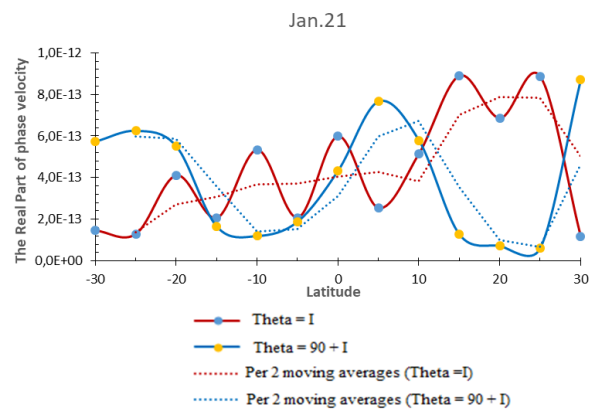


Figure 4. The real part of phase velocity of Alfvén waves  $k//B$  and  $k\perp B$  (June21<sup>st</sup>, 12:00 LT).

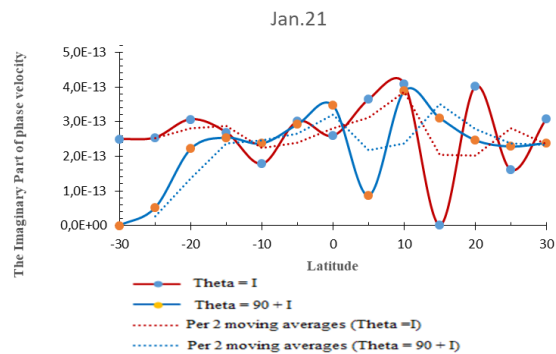


Figure 5. The imaginary part of phase velocity of Alfvén waves  $k//B$  and  $k\perp B$  (June21<sup>st</sup>, 12:00 LT)

## CONCLUSION

In this study, Alfvén waves for the accepted conditions in Northern-hemisphere at E-region of ionospheric plasma was calculated with low latitudes



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1071119

by using Eqn.(15-17), at hour 12.00 LT for 1990 year. When the results are evaluated in this article, the outstanding results are; In fact, it has been shown that all modes of all Alfvén waves (Pure Alfvén, fast and slow MHD) depend on the angle between the magnetic field and the wave propagation vector, as well as on the declination and magnetic dip angle. the values of NmF2 during the night as a function of the latitude exhibit a condition so-called "cavity" focused on the lowest magnetic point of the equator with "peaks" in 15 °N - 20 °S latitudes in the northern hemispheres. Electromagnetic drift ( $\perp B$ ) and diffusion ( $\parallel B$ ) combine and cause an upward increase in plasma motion like a "fountain". As can be seen from the analytical and numerical solution, if the viscosity coefficients are not taken into account, the real and group velocities of all waves are equal to the phase velocities. Besides, just like in cold plasma, when collisions, kinematic viscosity, and magnetic viscosity are taken into account, all parameters of the medium, group velocity, and phase velocity of the wave are complex. As it can be understood from the numerical calculations, the behavior of the phase velocity of the wave in mid-latitudes is almost similar to a cosines function, but the magnitudes of both the real and imaginary parts are different in both seasons.

#### STATEMENT OF CONFLICT OF INTEREST

Author(s) do not declare any conflict of interest regarding this article.

#### STATEMENT OF RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

Author(s) declare that this study is in compliance with research and publication ethics.

#### REFERENCES




- Budden, K.G. (1988). *The Propagation of Radio Waves*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Budden, K.G., and Stott, G.F. (1980). Rays in magneto-ionic theory-II, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 42, 791–800.
- Hunsucker, R.D. and Hargreaves, J. K. (2003). *The High-Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press, 1-50.
- Kaladze, T., Tsamalashvili, L., Kaladze, D., Ozcan, O., Yesil, A., and Inc, M. (2019). Modified KdV equation for magnetized Rossby waves in a zonal flow of the ionospheric E-layer, *Physics Letters A*, 383 (32), 125888.
- Ratcliffe, J. A. (1959). *The magneto-ionic theory and its applications to the ionosphere*. University Press.
- Richard, F. (2014). *The physics of Plasma*, CRC Press, New York, pp. 50–140.
- Rishbeth, H. (1973). Physics and chemistry of the ionosphere. *Contemporary Physics*, 14(3), 229-249.
- Rishbeth, H. and Garriot, O.K. (1969). *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York
- Sagir, S., and Yesil. A. (2018). The Relation Between the Refractive Index of the Equatorial Ionospheric F2 Region and Long-Term Solar Indices, *Wireless Personal Communications*, 102 (1), 31-40.
- Sağır, S., Yaşar, M., and Atici, R. (2019). The Relationship between Dst, IMF-Bz and Collision Parameters for  $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$  Reactive Scattering in the Ionosphere, *Geomagnetism and Aeronomy*, 59, 1003–1008.
- Swanson, D.G. (1989). *Plasma waves*, Academic Press, New York.
- Timucin, E., Unal, I., and Yesil, A. (2019). The Effect of the Midlatitude Electron Density Trough on the Ionospheric Conductivities, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43 (1), 297-307.
- Timocin, E., Yesil, A., and Unal, I. (2014). The effect of the geomagnetic activity to the hourly variations of ionospheric foF2 values at low latitudes, *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (10), 4437-4442.
- Unal, I., Senalp, E.T., Yeşil, A., Tulunay, Y., and Tulunay, E. (2011). Performance of IRI-based ionospheric critical frequency calculations concerning forecasting, *Radio Science* 46 (01), 1-10.
- Yasar, M. (2021). The Change Of Diffusion Processes For  $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$  Reaction In The Ionospheric F Region During The Solar Eclipse Over Kharkiv. *Thermal Science*, 25, Special Issue 1, 51-56.
- Yasar, M. (2021). The Solar Eclipse Effect On Diffusion Processes Of  $O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$  Reaction For The Upper Ionosphere Over Kharkiv. *Thermal Science*, Vol. 25, Special Issue 1, 57-63.
- Yesil, A., Sagir, S., and Kurt, K. (2016). The Behaviour of the Classical Diffusion Tensor for Equatorial Ionospheric, *Plasma, Journal of Science*, 13, 123-127.
- Yesil, A., and Sagir, S. (2019). Updating Conductivity Tensor of Cold and Warm Plasma for Equatorial Ionosphere F2-Region in The Northern Hemisphere, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science* 43 (1), 315-320.
- Yesil, A. (2006). The Effect of the Electron Temperature on the Electric Polarization Coefficient of Ionospheric Plasma, *International Journal of Science & Technology*, 1 (2), 125-130.
- Yesil, A., and Kurt, K. (2019). Calculation of electric field strength in the ionospheric F-region, *Thermal Science* 22, 159-164.
- Whitten, R.C., and Popoff, I.G. (1971). *Fundamentals of Aeoronmy*, John Willey and Sons, New York.

## Pollen Morphology of Some Taxa Belonging to *Polygonum* L. and *Rumex* L. (Polygonaceae) and Its Taxonomic Significance

**Birol Başer<sup>1\*</sup>, Mutlu Yiğit Aşit<sup>2</sup>, Murat Kürşat<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bitlis Eren University, Department of Biology, 13000, Bitlis, Turkey

<sup>2</sup>Bitlis Eren University, Graduate Education Institute, Department of Biology, Bitlis, Turkey

\*bbaser@beu.edu.tr , mutluasit@hotmail.com , mkursat@beu.edu.tr 

Received date: 24.02.2022, Accepted date: 09.05.2022

### Abstract

In this article, the pollen morphologies of 14 samples in total, 12 taxa from *Polygonum* L., *Rumex* L. (Polygonaceae), and two variations of *Rumex scutatus* L. were studied in detail by light microscopy and SEM. Solutions to taxonomic problems of these species were sought with palynological information. Pollen grains of some taxa belonging to *Polygonum* are studied as a result of palynological research; 3-colpate, 3-colporate, pantoporate, oblate-spheroidal, prolate, prolate-spheroidal, tectate, and exine surface are microechinate-perforate and reticulate with the free-standing columella. Pollen grains of some taxa belonging to *Rumex*; 3-colporate, rarely 4-colporate, pollen shapes are oblate-spheroidal, suboblate, tectate, and exine surface are microechinate-perforate.

**Keywords:** Pollen morphology, Polygonaceae, *Polygonum*, *Rumex*, SEM

## *Polygonum* L. ve *Rumex* L.'ye (Polygonaceae) ait Bazı Taksonların Polen Morfolojisi ve Taksonomik Önemi

### Öz

Bu makalede, *Polygonum* L., *Rumex* L. (Polygonaceae)'den 12 takson ve *Rumex scutatus* L.'nin iki varyasyonu olmak üzere toplam 14 örneğin polen morfolojileri ışık mikroskobu ve SEM ile detaylı olarak incelenmiştir. Palinolojik bilgilerle bu türlerin taksonomik problemlerine çözüm aranmıştır. Palinolojik araştırmalar sonucunda *Polygonum* cinsine ait bazı taksonların polenleri incelenmiş; 3-kolpat, 3-kolporat, pantoporat, oblate-sferoidal, prolat, prolat-sferoidal, tektat, ekzin yüzeyi mikroekinat-perforat ve serbest kolumellalı retikulat yapıdadır. *Rumex* cinsine ait bazı taksonların polenleri; 3-kolporat, nadiren 4-kolporat, polen şekilleri oblat-sferoidal, suboblate, tektat ve ekzin yüzeyi mikroekinat-perforattır.

**Anahtar Kelimeler:** Polen morfolojisi, Polygonaceae, *Polygonum*, *Rumex*, SEM

### INTRODUCTION

Although the distribution of Polygonaceae is cosmopolitan, there are 51 genera and 1200 species mainly in northern temperate regions (Leeuwen et al., 1998; Freeman and Reveal, 2005; Sanchez and Kron, 2008). In our country, there are 10 genera and around 87 species from the Polygonaceae family (Özer et al., 1999). *Polygonum* is a taxonomically difficult genus that classification of *Polygonum* taxa in Turkey is made more difficult by the apparent under-collecting of the weedy species. The genera in the Polygonaceae family are more common in meadows and pastures in our country. It has been stated that plants belonging to the Polygonaceae family, especially *Polygonum* L.

and *Rumex* L., are used for food and medical purposes among the people (Şimşek et al., 2002).

A comprehensive study of pollen morphology in Polygonaceae was published by Wodehouse (1931). Hedberg (1946), in his classic article on pollen morphology in the genus *Polygonum* L., identified ten main pollen types and a number of abnormal types, proposing a new taxonomic classification based on pollen morphology, and also provided a key for pollen types. According to Nowicke and Skvarla (1977), Polygonaceae is considered to be one of the most important eurypalynous families among dicotyledons. According to Godwin (1975), pollen from *Polygonum* and *Rumex*, which are members of

Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

the Polygonaceae family, was first discovered in Hoxnian (Holsteinian) and Pastonian (early Cromerian) glaciers, respectively. These are known indicators of Devensian (Weichselian) periglacial vegetation. The pollen grains of *Rumex* are also indicative of arable land in the lower boreal period (Holocene), which can find habitat in forest areas. Two taxa very common in the Arctic, *Koenigia islandica* L. and *Oxyria digyna* Hill, were found in the Devensian glacier in England. Andersen (1961) described several different pollen species from the Devensian glacier in Denmark in his study. Based on the data of Hedberg (1946), he defined a limited number of species such as *Bistorta* type and *Persicaria* type. Andersen (1961) revealed that 18 species of the *Rumex* genus in Europe can be divided into four different pollen groups.

Zhong-ze et al., (1999) investigated the pollen morphology of 3 genera and 46 species from Polygonaceae in Anhui province of the People's Republic of China using light microscopy and electron microscopy. Based on the morphological features of the pollen grains of this family; they defined 13 types based on species. Mosafieri and Keshavarzi (2011) proved that the micromorphological character traits of *Persicaria* pollen in Iran are effective in distinguishing them from other families. As a result of their studies, they concluded that *Polygonum* and *Persicaria* are different genera belonging to Iran.

Hong et al. (2005) examined a total of 30 taxa belonging to *Polygonum* L. and *Polygonella* Michx genera with a light microscope and SEM. They observed that the pollens examined were spheroidal and prolate, the apertures were tricolporate, and rarely 5-6 colporate. They stated that the biggest difference between the pollens was the difference in the exine ornamentation and this difference was in 3 different types. These are Avicularia type, Pseudomollia type, and Duravia types.

Raycheva et al., (2021) described a new species belonging to the Polygonaceae in Bulgaria. This species is the *Rumex kernerii* Borbás species of *Rumex*. Exine ornamentation was microechinate-perforate, 3 or 4 colpate. They also stated that the structure of the sporoderm did not show any differences.

The aim of the study is to perform pollen morphology analyses of 12 taxa from *Polygonum*, *Rumex* and two variations of *Rumex scutatus* to

determine the usefulness of these features for taxonomic applications.

## MATERIALS and METHODS

Plant specimens were obtained from the specimens of Bitlis Eren University Herbarium and Gazi University herbarium (GAZI). The list of voucher specimens is deposited in Bitlis Eren University and GAZI Herbaria.

### *Specimens investigated;*

*Polygonum alpinum* L.; B8-Bitlis Nemrut Cratet Lake Slopes 2375 m. MK 6094, Det.: M. Kurşat. *P. bistorta* L.; A8 Trabzon Hayrat Klerson Site, field edge, 1100 m, 27.07.2004, S. Aslan (GAZİ). *P. salicifolium* L.; A3 Sakarya Karasu Denizköy lakeside marsh 8 m, 29.04.2012, D. Karaduman 1594 (GAZİ). *P. lapathifolium* L.; B8-Bitlis, Ağaçköprü Village, 26.07.2013, 38° 20' 11.95" N, 42° 00' 10.88" E, 1350-1450 m, M. Karataş 1382, Det.: M. Kurşat. *P. arenastrum* Boreau.; A2 Kocaeli, Atakent Arslanbey Road 90 m, 30.08.2008, D. Aslan 1466 (GAZİ). *Rumex acetocella* L.; B8-Bitlis, Ağaçköprü Village, 08.07.2013, 38° 20' 11.95" N, 42° 00' 10.88" E, 1350-1450 m, MK 6095, Det.: M. Kurşat. *R. scutatus* L.; B8-Bitlis, East of Kambos Mountain (Valley), 18.06.2014, 38° 19' 29.58" N, 42° 00' 33.33" E, 1400-1600 m, M. Karataş 2184, 2185, Det.: M. Kurşat. *R. scutatus* L. (yellowish flowers)/(reddish flowers); B9-Van Artus Mountain, northern slopes, 2100 m. MK 6098-a/ MK6098-b. *R. tuberosus* subsp. *horizontalis* (K.Koch) Rech.f.; B8-Bitlis, South of Kambos Mountain, 15.05.2014, 38° 17' 52.83" N, 41° 59' 15.31" E, 1240-1650 m, MK 6096, Det.: M. Kurşat. *R. alpinus* L.; B8-Muş, northern slopes of Kurtik Mountain, 2450 m. 11.05.2020. MK 6093, Det.: M. Kurşat. *R. ponticus* E.H.L. Krause; B8-Bitlis, North Front of Kambos Mountain, 06.06.2014, 38° 19' 23.26" N, 41° 59' 42.29" E, 1800-1950 m, MK 6092 Det.: M. Kurşat. Endemic. *R. crispus* L.; B8-Bitlis, North Slopes of Kambos Mountain, 31.05.2014, 38° 19' 23.26" N, 41° 59' 42.29" D, 1800-1950m, M. Karataş 1981, Det.: M. Kurşat. *R. conglomeratus* Murray; B8-Bitlis, North Slopes of Kambos Mountain, 16.06.2015, 38° 19' 23.26" N, 41° 59' 42.29" E, 1800-1950 m, M. Karataş 2698, Det.: M. Kurşat.

For light microscopy (LM) studies, pollen slides were prepared using the Wodehouse (1935) technique. The pollen grains were mounted in unstained glycerine jelly, stained with safranin, and

Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

studies were made using an Olympus BX-31. Measurements were performed on at least 30 pollen grains per specimen for each morphological character; polar axis (P), equatorial diameter (E), porus length (Plg), porus width, (Plt), colpus length (Clg), colpus width (Clt), mesocolpium (L), apocolpium (t), exine, and intine with LM using an oil immersion 100U objective lens.

For SEM studies, pollen grains were dried, mounted on stubs, and coated with gold by a sputter coater, and the SEM examination was carried out using a ZEISS Supra 55 Scanning Electron Microscope at the SEM Laboratory of the Central Research Laboratory (MERLAB), Yuzuncu Yil University, Van. In general, the terminology used is in accordance with Punt et al. (2007) and Hesse et al. (2009).

## RESULTS

The pollen morphological properties of the examined *Polygonum* and *Rumex* taxa are summarized in Table 1 and Table 2. Representative pollen grains are illustrated in Figures 1–2.

### *Size, symmetry, and shape*

*Polygonum*; the pollen grains of the investigated species are dispersed as a monad. They can be described as isopolar symmetrical and based on SEM and LM. The shape of the pollen grains in the equatorial view are prolate and oblate-spheroidal, whilst their shape in the polar view is triangular and circular. The pollen grains are prolate (*P. bistorta* and *P. aranestrum*) and others are oblate-spheroidal. The polar axis varies from 25.16-52.49  $\mu\text{m}$  and the equatorial diameters from 17.37-37.40  $\mu\text{m}$ . mesocolpium 33.15-38.14  $\mu\text{m}$ , apocolpium 12.30-14.07  $\mu\text{m}$ . Their dimensions are smaller in *P. aranestrum* and larger in *P. bistorta* (Tables 1-2; Figures 1-2).

*Rumex*; the pollen grains of the investigated species are dispersed as a monad. They can be described as isopolar symmetrical and based on SEM and LM. The shape of the pollen grains in equatorial view are suboblate, prolate-spheroidal, and oblate-spheroidal, whilst their shape in polar view are triangular. The pollen grains are prolate-spheroidal (*R. conglomeratus*), suboblate (*R. scutatus*), and others are oblate-spheroidal. The polar axis varies from 19.48-34.98  $\mu\text{m}$  and the equatorial diameters from 20.53-38.76  $\mu\text{m}$ . Mesocolpium 20.43-34.54  $\mu\text{m}$ , apocolpium 4.14-6.63  $\mu\text{m}$ . Their

dimensions are smaller in *R. tuberosus* subsp. *horizontalis* and larger in *R. ponticus* (Tables 1-2; Figures 1-2).

### *Apertures*

*Polygonum*; In the investigated taxa, there are 3 taxa with pantoporate, 3-colpate (*P. alpinum*), and 3-colporate (*P. bistorta*). Pore length (Plg) is 4.45-9.62  $\mu\text{m}$ , and the pore width (Plt) is 4.52-5.93  $\mu\text{m}$ . The shape of the porus is circular. The colpus length (Clg) is 24.00-32.53  $\mu\text{m}$ , and the colpus width (Clt) is 2.37-6.59. Mesocolpium (L) is measured as 18.49-38.14  $\mu\text{m}$ , and apocolpium (t) is measured as 9.69-14.07  $\mu\text{m}$  (Table 1; Figures 1-2).

*Rumex*; In the investigated taxa, there are 3-colporate rarely 4-colporate (*R. acetocella*, *R. ponticus*, and *R. crispus*), others are 3-colporate. Pore length (Plg) is 4.62-8.19  $\mu\text{m}$ , and the pore width (Plt) is 3.39-4.92  $\mu\text{m}$ . The shape of the porus is circular. The colpus length (Clg) is 14.21-28.38  $\mu\text{m}$  and the colpus width (Clt) is 0.46-1.51  $\mu\text{m}$  (Table 1; Figures 1-2).

### *Exine, intine, and ornamentations*

*Polygonum*; The exine ranges from 1.13 to 2.44  $\mu\text{m}$ . Ectexine is thicker than endexine. The intine is 0.48-0.91  $\mu\text{m}$  thick. Exine sculpturing showed two distinct types of surface structures: microechinate-perforate and reticulate free-standing columella. The pollen species with the highest number of perforae at 25  $\mu\text{m}^2$  is *P. bistorta* (175), the least species is *P. alpinum* (31), and the species with the highest number of spinules at 25  $\mu\text{m}^2$  is *P. bistorta* (55.5), the least species *P. alpinum* (21), the species with the highest spinule width *P. alpinum*, the lowest species *P. bistorta*, the highest number of reticulatae at 25  $\mu\text{m}^2$ , *P. salicifolium*, the least It is observed that the species with the highest lumina diameter was *P. salicifolium*, the species with the least diameter is *P. laphothifolium*, the species with the highest muri thickness is *P. anenastrium*, and the species with the least is *P. laphothifolium*. In addition, it is observed that the perforae of the *P. bistorta* is larger in diameter and less in number in the polar regions, while the perforae in other regions are much smaller in diameter and more in number (Table 1-2; Figures 1-2).

*Rumex*; The exine ranges from 0.58 to 2.15  $\mu\text{m}$ . Ectexine is thicker than endexine. The intine is 0.38-0.60  $\mu\text{m}$  thick. Exine sculpturing, showed one distinct types of surface structures: microechinate-perforate. The pollen species with the highest number of

Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

perforae at 25  $\mu\text{m}^2$  is *R. tuberosus* subsp. *horizontalis* (121) the smallest species is *R. acetosella* (22.4), the species with the most spinulae at 25  $\mu\text{m}^2$  is *R. alpinus* (207) the least species is *R. scutatus* (61.5), the species with the highest spinulae width is *R.*

*conglomeratus* (1.91), the smallest species *R. scutatus* (0.05), the longest spinulae length *R. tuberosus* subsp. *horizontalis* the least species is *R. scutatus* (0.27) (Table 1-2; Figures 1-2).

**Table 1.** Pollen morphological data for the *Polygonum* and *Rumex* taxa

Taxon	Pollen Type	P	E	P/E	Plg	Plt
<i>Polygonum alpinum</i>	3-colpate	36.14±1.88	37.02±2.53	Oblate-spheroidal	-	-
<i>P. bistorta</i>	3-colporate	52.49±6.19	37.40±3.83	Prolate	9.62±1.20	5.93±1.12
<i>P. salicifolium</i>	Pantoporate	35.76±4.47	35.83±4.19	Oblate-spheroidal	5.10±0.90	4.99±0.88
<i>P. laphothifolium</i>	Pantoporate	37.02±2.75	37.26±2.59	Oblate-spheroidal	4.55±0.87	4.55±0.81
<i>P. arenastrum</i>	Pantoporate	25.16±2.10	17.37±1.30	Prolate	4.45±1.08	4.52±1.13
<i>Rumex acetocella</i>	3-colporate, rarely 4-colporate	24.07±1.99	26.04±1.43	Oblate-spheroidal	5.61±1.22	3.67±0.63
<i>R. scutatus</i>	3-colporate	21.86±1.65	24.82±1.86	Suboblate	5.06±0.71	3.17±0.80
<i>R. scutatus</i> (reddish flowers)	3-colporate	22.83±2.53	24.78±2.86	Oblate-spheroidal	5.74±0.78	2.49±0.47
<i>R. scutatus</i> (yellowish flowers)	3-colporate	22.37±3.33	24.20±3.32	Oblate-spheroidal	5.86±0.93	2.19±0.38
<i>R. tuberosus</i> subsp. <i>horizontalis</i>	3-colporate	19.48±1.44	20.53±1.90	Oblate-spheroidal	4.62±0.49	3.39±0.49
<i>R. alpinus</i>	3-colporate	24.85±2.52	25.56±2.66	Oblate-spheroidal	5.27±1.05	3.84±0.65
<i>R. ponticus</i>	3-colporate rarely 4-colporate	34.98±4.12	38.76±4.33	Oblate-spheroidal	8.19±1.88	4.92±0.78
<i>R. crispus</i>	3-colporate rarely 4-colporate	31.58±3.04	33.52±3.29	Oblate-spheroidal	5.59±0.99	2.15±0.65
<i>R. conglomeratus</i>	3-colporate	22.74±2.01	23.39±1.70	Prolate-spheroidal	5.01±0.79	3.46±0.48

**Table 1.** (Continued) Pollen morphological data for the *Polygonum* and *Rumex* taxa

Taxon	Ex	In	L	t	Clg	Clt	Orn.
<i>Polygonum alpinum</i>	1.98±0.22	0.54±0.17	38.14±1.66	14.07±1.66	24.00±2.45	6.59±0.97	Microechinate-Perforate
<i>P. bistorta</i>	1.87±0.19	0.53±0.15	33.15±2.66	12.30±1.65	32.53±3.29	2.37±0.36	Microechinate-Perforate
<i>P. salicifolium</i>	2.44±0.41	0.48±0.15	-	-	-	-	Free-standing columella reticulate
<i>P. laphothifolium</i>	2.22±0.37	0.91±0.24	-	-	-	-	Free-standing columella reticulate
<i>P. arenastrum</i>	1.13±0.19	0.61±0.11	-	-	-	-	Free-standing columella retikulate
<i>Rumex acetocella</i>	1.02±0.38	0.60±0.12	25.60±1.93	4.76±0.56	21.11±2.30	1.51±0.21	Microechinate-Perforate
<i>R. scutatus</i>	0.79±0.21	0.51±0.160	23.05±2.44	5.33±1.04	18.63±1.98	0.88±0.17	Microechinate-Perforate
<i>R. scutatus</i> (reddish flowers)	0.77±0.21	0.45±0.16	25.32±2.87	4.48±0.63	18.61±2.26	0.84±0.19	Microechinate-Perforate
<i>R. scutatus</i> (yellowish flowers)	0.58±0.22	0.31±0.10	22.88±2.83	3.64±0.86	19.55±3.51	0.46±0.10	Microechinate-Perforate
<i>R. tuberosus</i> subsp. <i>horizontalis</i>	0.82±0.20	0.45±0.166	20.43±2.15	4.14±0.63	14.21±1.10	0.68±0.17	Microechinate-Perforate
<i>R. alpinus</i>	1.31±0.20	0.51±0.11	26.31±3.24	5.23±0.95	22.06±2.84	1.32±0.24	Microechinate-Perforate
<i>R. ponticus</i>	1.89±0.23	0.45±0.18	34.54±3.56	6.63±1.13	28.38±4.33	0.62±0.17	Microechinate-Perforate
<i>R. crispus</i>	2.15±0.65	0.49±0.18	33.32±2.44	4.41±0.90	25.80±2.52	1.51±0.42	Microechinate-Perforate
<i>R. conglomeratus</i>	1.13±0.16	0.57±0.11	22.50±1.96	6.30±0.60	20.77±1.35	0.89±0.19	Microechinate-Perforate

Polar axis (P), equatorial axis (E), Pollen shape (P/E), pore length (Plg), pore width (Plt), colpus length (Clg), colpus width (Clt) exine (Ex), mezocolpium (L), apocolpium (t), Intine (In), ornamentation (Orn.)

**Table 2.** SEM analysis results of studied *Polygonum* L. and *Rumex* L. taxa ( $\mu\text{m}$ )

In 25  $\mu\text{m}^2$

Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

Taxon	Perforae diameter	Perforae number	Spinule number	Reticulae number	Spinule width	Spinule length	Lumina diameter	Muri thickness
<i>Polygonum alpinum</i>	4.90	31	21	---	2.30	1.34	---	---
<i>P. bistorta</i>	11.25	60	55.50	---	1.30	1.05	---	---
<i>P. salicifolium</i>	---	---	---	1.40	---	---	5.50	0.75
<i>P. lapthothifolium</i>	---	---	---	1.26	---	---	4.70	0.43
<i>P. anastrum</i>	---	---	---	1.30	---	---	5.30	6.20
<i>Rumex acetosella</i>	---	22.40	105	---	1.20	1.05	---	---
<i>R. scutatus</i>	---	60	61.50	---	0.05	0.27	---	---
<i>R. scutatus</i> (reddish flowers)	---	34.50	112	---	0.85	0.66	---	---
<i>R. scutatus</i> (yellowish flowers)	---	104	198	---	0.85	0.58	---	---
<i>R. tuberosus</i> subsp. <i>horizontale</i>	---	121	147	---	0.85	1.20	---	---
<i>R. alpinus</i>	---	120	207	---	1.81	1.05	---	---
<i>R. ponticus</i>	---	49	91.50	---	1.17	0.82	---	---
<i>R. crispus</i>	---	72.50	112	---	1.00	0.98	---	---
<i>R. conglomeratus</i>	---	111	134	---	1.91	0.76	---	---

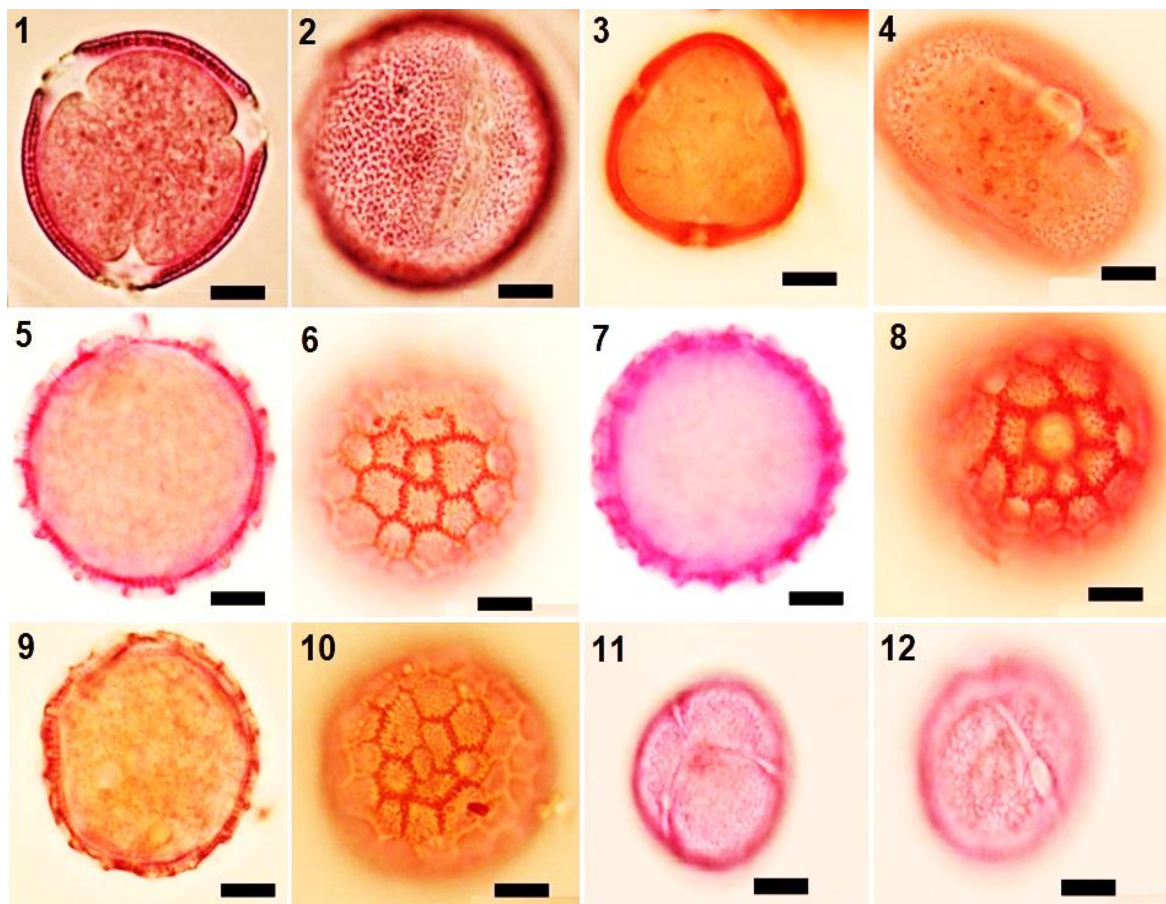
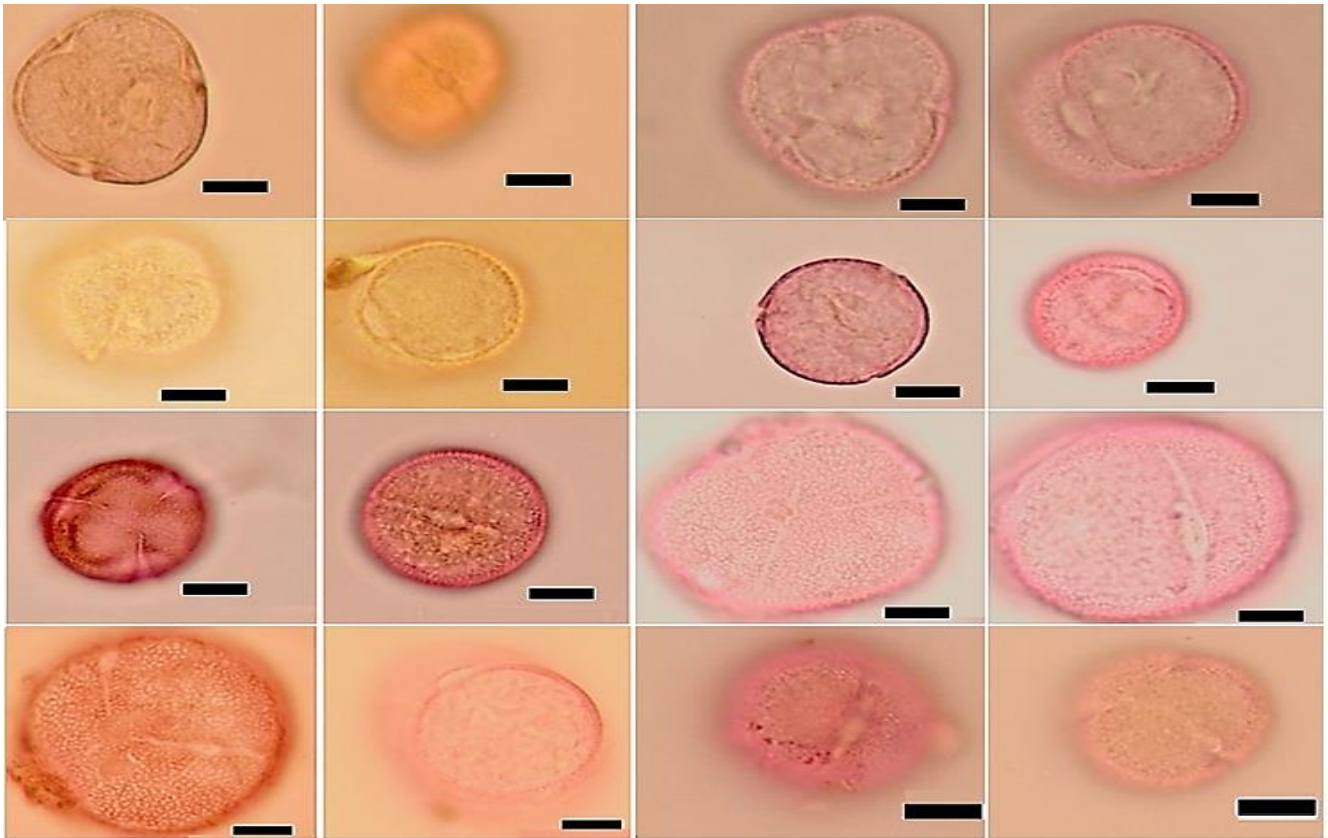


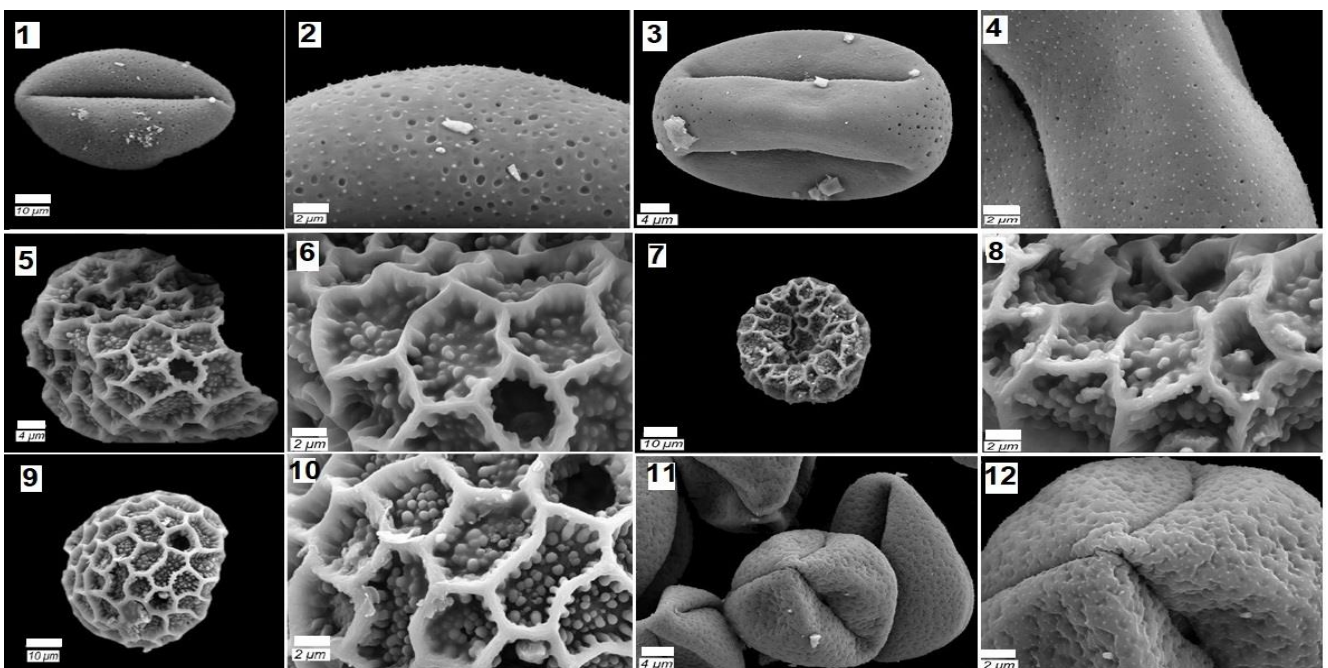
Fig. 1. Pollen grains LM photos of studied taxa: (1-2) *Polygonum alpinum*, (3-4) *P. bistorta*, (5-6) *P. salicifolium*, (7-8) *P. lapthothifolium*, (9-10) *P. anastrum*, (11-12) *Rumex acetosella* (Scale bar 10  $\mu$ m)

Research article

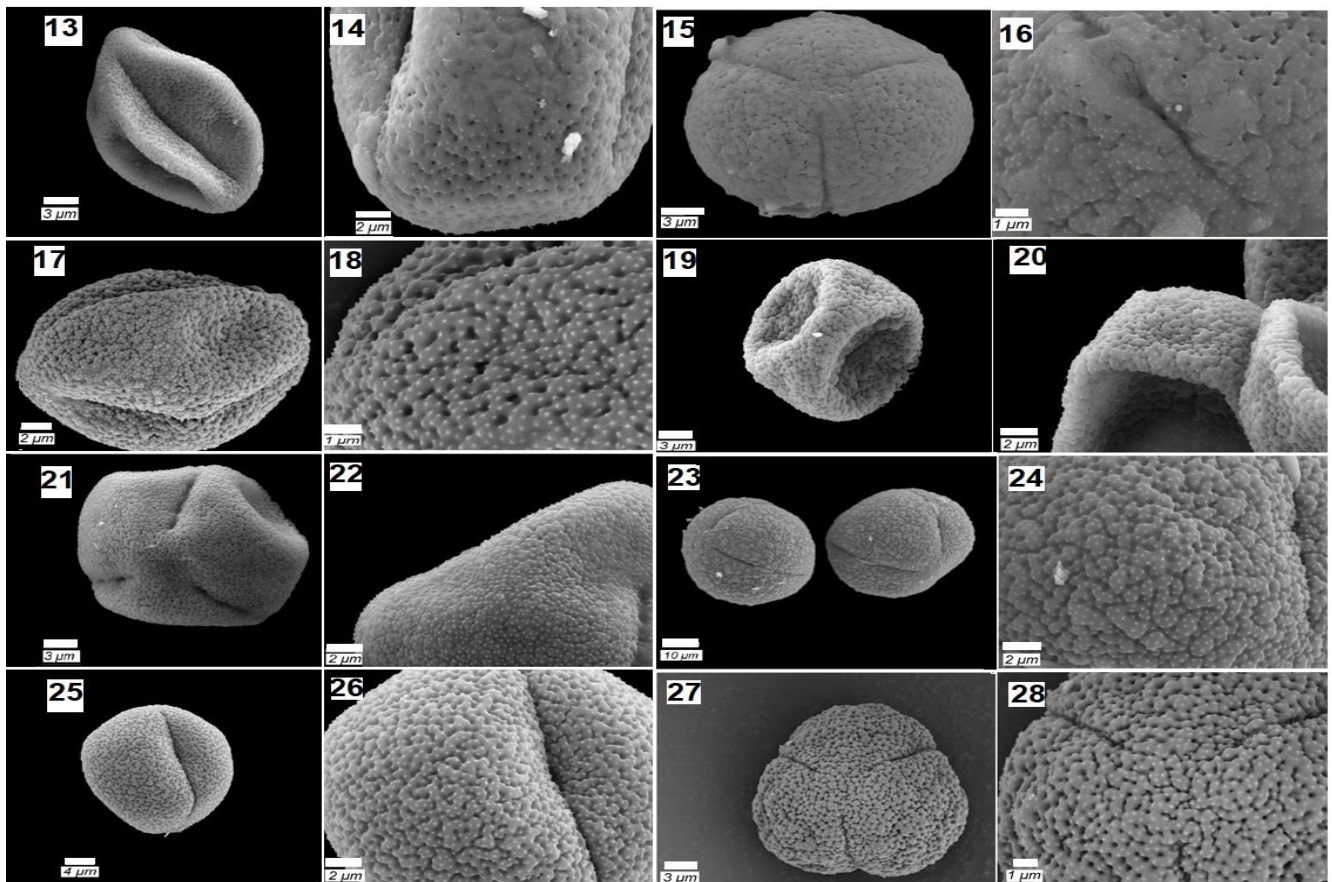
DOI: 10.29132/ijpas.1078670



**Fig. 1.** (Continued) (13-14) *Rumex scutatus*, (15-16) *R. scutatus* (reddish flowers), (17-18) *R. scutatus* (yellowish flowers), (19-20) *R. tuberosus* subsp. *horizontalis*, (21-22) *R. alpinus*, (23-24) *R. ponticus*, (25-26) *R. crispus*, (27-28) *R. conglomeratus* (Scale bar 10  $\mu\text{m}$ ).



**Fig. 2.** Pollen grains SEM photos of studied taxa: (1-2) *Polygonum alpinum*, (3-4) *P. bistorta*, (5-6) *P. salicifolium*, (7-8) *P. lapthothifolium*, (9-10) *P. arenastrum*, (11-12) *Rumex acetocella*



**Fig. 2.** (Continued) (13-14) *Rumex scutatus*, (15-16) *R. scutatus* (reddish flowers), (17-18) *R. scutatus* (yellowish flowers), (19-20) *R. tuberosus* subsp. *horizontalis*, (21-22) *R. alpinus*, (23-24) *R. ponticus*, (25-26) *R. crispus*, (27-28) *R. conglomeratus*

## DISCUSSION

Pollen morphology of the Polygonaceae has been proven eurypalynous family and contributed to the infrafamilial systematics (Wodehouse 1931; Hedberg 1946; Erdtman 1966; Norwicke and Skvarla 1977). Pollen grains characteristics of 12 taxa from *Polygonum*, *Rumex*, and two variations of *Rumex scutatus* are summarised in Tables 1-2 and are shown in Figs. 1-2. Pollen grains are monad, 3-colporate, rarely 4-colporate, and 3-colporate (tricolpate), it has also been observed that there are taxa that are periporate (pantoporate). Pollen shapes of *Polygonum* were observed to be prolate and oblate-spheroidal, pollen shapes of *Rumex* genera were oblate-spheroidal, prolate-spheroidal, and suboblate, SEM photographs showed pollen with prolate and subprolate shape as well as prolate-spheroidal shape. In taxa that have pore as aperture, pantoporate, pori are generally round, their borders are clear, their

arrangement is regular, colpi are narrow and long and their ends are pointed. It was observed that the exine was thicker than the intine in the examined taxa.

It has been observed that there are differences between *Rumex scutatus*, which we studied, and *R. scutatus*, which has two different variations, with yellowish flowers and *R. scutatus* with reddish flowers. *R. scutatus* collected from Bitlis Kamboz Mountain at an altitude of 1400-1600 m was yellowish, the pollen shape was suboblate (0.87) in the examination made under IM, the perforae number was 60 at  $25 \mu\text{m}^2$ , the spinule number was 61.5, and the 2100 m altitude Van Artus Mountain. The pollen shapes of *R. scutatus* yellowish flowers and *R. scutatus* reddish flowers variations collected from the same locality were oblate-spheroidal (0.92), and the perforae number was 34.5 in *R. scutatus* reddish flowers in  $25 \mu\text{m}^2$ , in *R. scutatus* yellowish flowers 104 in *R. scutatus* yellowish flowers in the



Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

observation made from the same locality. As a result, at 25  $\mu\text{m}^2$ , the spinule number was measured as 112 in *R. scutatus* with reddish flowers and 198 in *R. scutatus* with yellowish flowers. Some palynological differences were observed as the altitude increased. With increasing altitude, the spinule number, spinule width and spinule length of *R. scutatus* reddish flowers and *R. scutatus* yellowish flowers variations increased significantly observed to be excessive.

Palynologically, Polygonaceae is considered the eurypalynous family (Wodehouse 1931; Hedberg 1946; Nowice and Skvarla, 1977), and its distinct variations have great systematic potential, especially at the genus level (Nowicke and Skvarla, 1977). Differences in the size and surface structure of their pollen grains are useful for distinguishing Polygonaceae species. Exine and its ornamentation make pollen, different genera, and even species highly distinguishable structures (Moore and Webb, 1978).

Soleimani et al. (2014) stated that the palynological findings in the species belonging to *Rumex* genera in Iran, in SEM, pollen grains have panporate, tricolporate, tetracolporate, granulate, microechinate and punctate. They found the P/E value of (1.12) *R. crispus*, (1.32) *R. tuberosus*, and (0.86) *R. conglomeratus*. In our analysis of the species, we found spheroidal, In our examination; *R. crispus*, *R. tuberosus* subsp *horizontalis* are spheroidal, *R. conglomeratus* is prolate-spheroidal, and all three pollen species were tricolporate.

El Nagggar and El Huessini (2001) observed 20 species belonging to seven genera belonging to the Polygonaceae family in Egypt with light microscope and SEM. They thought that the shape, size, external appearance, and differences in exine ornamentation of the pollen helped them to distinguish between different pollen types. As a result of their studies, they observed that the shapes of pollen belonging to *Atraphaxis* type, *Calligonum-Oxygonum* type, *Persicaria* type, *Polygonum* type and *Rumex-Emex* types are prolate and spheroidal, apertures are tricolporate and pantoporate, ornamentation; reticulate, scabrate and perforate, microreticulate-foveolate, they observed that the colpus is narrow and long. El Nagggar and El Huessini (2001) observed in their study in Egypt that the polar axis and equatorial axis lengths of *R. crispus* varied between 22.5-25  $\mu\text{m}$ . They observed that *R. crispus* is spheroidal, tricolporate, ornamentation microreticulate-

foveolate, and they also stated that *R. crispus* belongs to *Rumex-Emex* pollen type. As a result of our study, it was observed that the polar axis and equatorial axis length of *R. crispus* were 31.58-33.52  $\mu\text{m}$ , spheroidal and tricolporate, and the ornamentation was microechinate-perforate. El Nagggar and El Huessini (2001), in their observations on the genus *Polygonum*, determined that the pollen shapes are tricolporate, prolate, isopolar, and the ornamentation is scabrate or microechinate.

Leeuwen et al. (1988), conducted a detailed study of the Polygonaceae family in Northwest Europe, as a result of which *P. arenastrum* type was assigned to *P. aviculare* type, *P. bistorta* to *P. bistorta* type, *P. lapathifolium* to *P. persicaria* type, *Rumex crispus*, *R. conglomeratus*, *R. scutatus* and *R. acetosella* pollen species were determined to belong to the *R. acetosa* type.

Yasmin et al. (2010) investigated the pollen morphology of 7 species belonging to *Rumex* genus in Pakistan with light microscopy (IM) and scanning electron microscope (SEM) and stated that the genus is eurypalynous. Pollen grains are radial and isopolar symmetrical, generally 3-4 colporate, the P/E ratio varies between 1.01-1.24, the polar view is circular, whilst the shape of the pollen grains in equatorial view have different variations from spheroidal, prolate-spheroidal, subprolate, prolate to mild to rhomboidal appearance. they observed three different pollen types based on ornamentation; *Chalepensis* type, *Dentatus* type, and *Acetosa* type. They revealed that under SEM, ornamentation is granulate in some species, and perforate-punctate and reticulate in some species. As a result of our investigations on seven species belonging to the *Rumex* genus; We observed that the polar axis length of the species is 19.48-34.98  $\mu\text{m}$ , the equatorial axis length is 20.53-38.76  $\mu\text{m}$ , the P/E ratio varies between 0.87-0.97, the colpus is generally narrow and long, the exine thickness varies between 0.58-2.15, and the ornamentations are microechinate-perforate.

Raycheva et al. (2021), described a new species of *Rumex kernerii* Borbás, belonging to the Polygonaceae family in Bulgaria. They observed microechinate-perforate ornamentation of 3-4 colpate, pollen diameter 38.55 $\pm$ 2.28  $\mu\text{m}$ . They also stated that the structure of the sporoderm did not show any differences.

Yasmin et al. (2010), in their study under SEM, defined 4 different types as *Patulum* type, *Plebium*

Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

type, Cognatum type and Avicularia type belonging to *Polygonum* genus according to the differences in exine ornamentation. They observed that the exine ornamentation of *P. arenastrum* has granulate, tricolporate, spheroidal, prolate-spheroidal, circular, exine thickness was 3.5  $\mu\text{m}$ , polar axis length 22-25  $\mu\text{m}$ , and equatorial axis length changed between 21.6-23  $\mu\text{m}$  in SEM and LM. they also stated that *P. arenastrum* belonged to the Plebijum type from the types they defined. As a result of our investigations, *P. arenastrum* pantoporate is prolate, exine thickness is 1.13  $\mu\text{m}$ , intine thickness is 0.61  $\mu\text{m}$ , polar axis x equatorial axis is 25.16 x 17.37 $\pm$ 1.3  $\mu\text{m}$ , and its ornamentation is free-standing columella reticulate we observed.

Yurtseva et al. (2014), in their study, found that pollen belonging to the *Atraphaxis* L. genus belonging to Polygonaceae were morphologically similar to *Polygonum*. The pollen grains are tricolporate, prolate and subprolate. In our study *Polygonum* is prolate-spheroidal, prolate, microechinate, some of them do not have colpus, there is a pore, the tricolporate structure, reticulate-perforate being morphologically similar to the *Atraphaxis* and *Polygonum* genera.

In the study (Anonim2021a) with *P. bistorta*, under the light microscope (IM); pollen size: measured as 41-50  $\mu\text{m}$ , pollen type tricolporate, isopolar, circular in shape, observed under the light microscope that the ornamentation is reticulate. In our studies, the polar axis x equatorial axis length of *P. bistorta* is 52.49 x 37.40  $\mu\text{m}$ , pollen shape is observed as prolate, ornamentation as microechinate-perforate.

Keskin et al. (2021), conducted a study on the morphology of the pollen *Polygonum istanbulicum* Keskin. They determined that the pollens of the genus *Polygonum* are generally tricolporate or rarely 6-colporate, prolate, and rarely prolate-spheroidal, the polar views of the pollen grains is circular or triangular and the morphological characteristics of *P. istanbulicum*, tricolporate and P/E ratio is 1.76, with these features Avicularia type.

Kong et al. (2021), 19 taxa of the genus *Persicaria* and 4 taxa of the genus *Koenigia* from the Cephalophilon section of Polygonaceae were investigated. In the study conducted with *Persicaria* taxa, they observed that the polar diameters ranged from 13.44–51.16  $\mu\text{m}$  on average and that the majority of the pollens belonging to the *P. cephalophilon* type were tricolpate pollens together

with other pantoporate or 9-colpate. They stated that *Persicaria criopolitana*, *P. palmata*, *Koenigia nepalensis*, *K. pilosa*, and *K. islandica* pantoporate and 9-colpate pollen is only found in *K. delicatula*. Reticulate, microechinate-reticulate, and microechinate ornamentation types are defined. We think that *P. salicifolium*, *P. laphothifolium*, and *P. anenastrium* species belonging to *Polygonum* that we studied are similar to those of Kong et al. 2021.

We think that our study will contribute to plant systematics and other fields of palynology by revealing the morphological features of The pollen morphologies of 14 samples in total, 12 taxa from *Polygonum*, *Rumex* (Polygonaceae), and two variations of *Rumex scutatus*.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the Curators of Herbaria GAZI and Bitlis Eren University Herbaria, who allowed us to study their *Polygonum* and *Rumex* specimens, to Dr. Yüksel Akınay and Dr. Ihsan Nuri Akkuş (Science Application and Research Center, University of Yuzuncuyil, Van) who is a helper to take of electron photographs of pollen grains surface.

## CONFLICT OF INTEREST

The Author report no conflict of interest relevant to this article

## RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

## REFERENCES

- Andersen, S.T. (1961). Vegetation and its environment in Denmark in the Early Weichselian (last glacial). Danmarks Geologiske Undersogelse, 2 (75):1 75.
- Anonim, 2021a. [https://www.paldat.org/pub/Polygonum\\_bistorta/305692](https://www.paldat.org/pub/Polygonum_bistorta/305692) (Erişilen Tarih: 2021-11-24).
- El Nagggar, S., El Hussein, N. (2001). Pollen Atlas of the Flora of Egypt. 2. Species of Polygonaceae 21 (1):143-151.
- Erdtman, G. (1966). Pollen Morphology and Plant Taxonomy. Angiosperms. Hafner, New York.
- Erdtman, G., Berglund, B., Praglowski, J. (1961). An Introduction to a Scandinavian Pollen Flora, Grana Paynologica 2 (2): 3-92.
- Freeman, C.C., Reveal, J.L. (2005). Flora of North America Polygonaceae. Oxford University Press, Oxford.

## Research article

DOI: 10.29132/ijpas.1078670

- Godwin, H. (1975). The History of the British Flora A Factual Basis for Phytogeography, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hedberg, O. (1946). Pollen Morphology of the Genus *Polygonum* L.s lat. and Its Taxonomic Importance, *Svenske Botanisk Tidskrift*, 40: 371-404.
- Hesse, M., Halbritter, H., Zetter, R., Weber, M., Buchner, R., Frosch Radivo, A., & Ulrich, S. (2009). Pollen terminology an illustrated handbook. –Spr. Verlag. Vienna.
- Hong, S.P., Hedberg, O. (1990). Parallel Evolution of Aperture Numbers and Arrangement in the Genera *Koenigia*, *Persicaria*, and *Aconogonon* (Polygonaceae), *Grana*, 29 (3): 177-183.
- Hong, S.P., Oh, I.C., Ronse De Craene, L.P. (2005). Pollen Morphology Of The Genera *Polygonum* s. str. and *Polygonella* (Polygoneae: Polygonaceae). *Plant Systematics and Evolution*, Austria, 254: 13-30.
- Keskin, M., Yilmaz, A., Severoğlu, Z. (2021). Micromorphological description of *Polygonum istanbulicum* (Polygonaceae), *Acta Microscópica* 30 (2): 111-118.
- Kong, M.J., Hong, J.H., Hong, S.P. (2021). Pollen Morphology of *Persicaria* section *Cephalophilon* (Polygonaceae), *Plant Systematics and Evolution*, Seoul, Republic of Korea, 307:16.
- Leeuwen, P., Punt, W., Hoen, P.P. (1988). The Northwest European Pollen Flora, 43 Polygonaceae. Laboratory of Palaeobotany and Palynology, University of Utrecht, Utrecht.
- Moore, P.D., Webb, J.A. (1978). An Illustrated Guide to Pollen Analysis. Hodder and Stoughton, London.
- Mosaferi, S., Keshavarzi, M. (2011). Micro-morphological Study of Polygonaceae Tribes in Iran, 17 (1): 89-100.
- Nowicke, J.W., Skvarla, J.J. (1977). Pollen Morphology and the relationship of the Plumbaginaceae, Polygonaceae, and Primulaceae to the order Centrospermae, *Smithsonian Contributions to Botany*, 37: 1-64.
- Özer, Z., Önen, H., Tursun, N., Uygur, F.N. (1999). Türkiye'nin bazı önemli yabancı otları (Tanımları ve Kimyasal Savaşmaları), *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları*, Tokat.
- Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S. and Le Thomas, A. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. Review of Palaeobotany and Palynology, 143: 1-81.
- Raycheva, T.G., Stoyanov, K.H., Stoyanov, P.S.(2021). *Rumex kernerii* Borbás (Polygonaceae) in the Bulgarian flora – Morphology, leaf epidermis, pollen morphology, and karyology, *Agricultural University - Plovdiv, Department of Botany, Bulgaria*, 13 (1): 119-130.
- Sanchez, A., Kron, K.A. (2008). Phylogenetics of Polygonaceae with an emphasis on the evolution of Eriogonoideae. *Systematic Botany*, 33 (1): 87-96.
- Soleimani, M., Jafari, A., Shahrokhbady, K.N., Moghadam, D.A. (2014). Comparative Anatomical and Palynological Studies on *Rumex* L. species (Polygonaceae) in NE Iran, *Greener Journal of Biological Sciences*, 4 (4): 111-115.
- Şimşek, L., Aytekin, F., Yeşilada, E., Yıldırım, Ş. (2002). Anadolu'da halk arasında bitkilerin kullanış amaçları üzerinde etnobotanik bir çalışma, *Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler*, 29-31 Mayıs, Eskişehir.
- Yasmin, G., Mir, A.K., Shaheen, N., Hayati, M.Q., Ali, S., Abbas, Sh. (2010). Taxonomic implications of pollen morphology of seven species of *Rumex* L. from Pakistan. *International Journal of Biodiversity*. 42 (3): 1435-1442.
- Yasmin, G., Mir, A.K., Shaheen, N. (2010). Pollen morphology of selected *Polygonum* L. species (Polygonaceae) from Pakistan and its Taxonomic Significance, *From Pakistan, International Journal of Biodiversity*. 42 (6):3693-3703.
- Yurtseva, O.V., Severova, E.E., Bovina, I.Y. (2014). Pollen morphology and taxonomy of *Atraphaxis* (Polygoneae, Polygonaceae), *Plant Systematics and Evolution*, 300: 749-766.
- Zhong-ze, Z., Run-long, L., Lei, G., Shi-lai, B., Yan-yan, Z. (1999). A study on the pollen morphology of the Polygonaceae in Anhui Province. *Bulletin of Botanical Research*, 19 (1): 17-33.
- Wodehouse, R.P. (1931). Pollen Grains in The Identification and Classification of Plants -6. *Polygonaceae, American Journal of Botany* 18: 749-764.
- Wodehouse, R.P.(1935). *Pollen Grains: Their Structure, Identification, and Significance in Science and Medicine*. Hafner Publish, Company, New York and London, 106-109.

## Analysis of Double Differential Cross Section for Neutron Induced and Neutron Emission Reaction of $^{209}\text{Bi}$ Isotope

Deniz Canbula

Manisa Celal Bayar University, Manisa Technical Sciences Vocational School, Department of Alternative Energy Resources Technology, Manisa, Turkey

deniz.canbula@cbu.edu.tr 

Received date:03.03.2022, Accepted date: 13.05.2022

### Abstract

The double-differential cross sections (DDX) of neutron induced and neutron emission reaction of  $^{209}\text{Bi}$  isotope are calculated and analysed at neutron emission energies below 7 MeV at 3 laboratory angles between  $20^\circ$  and  $150^\circ$ . In the calculations, the latest version of Talys 1.96 is utilized to calculate the total, direct, pre-equilibrium and compound cross sections, which are obtained using the same parameters. The contributions of direct, pre-equilibrium and compound processes to the total cross section are separately investigated. It is presented that the compound part has the greatest contribution. The calculation results are compared with the existing experimental data taken from EXFOR library.

**Keywords:**  $^{209}\text{Bi}$ , DDX, neutron emission reaction, neutron induced reaction, Talys 1.96

### $^{209}\text{Bi}$ İzotopunun Nötron ile İndüklenmiş ve Nötron Emisyon Reaksiyonu için Çift Diferansiyel Tesir Kesiti Analizi

#### Özet

$^{209}\text{Bi}$  izotopunun nötron ile indüklenen ve nötron yayınlayan reaksiyonuna ait çift diferansiyel tesir kesiti değerleri (DDX) hesaplanmıştır ve 7 MeV altında nötron yayma enerjilerinde  $20^\circ$  ve  $150^\circ$  arasındaki 3 laboratuvar açısında analiz edilmiştir. Hesaplamalarda, aynı parametreler kullanılarak elde edilen toplam, direkt, denge-öncesi ve bileşik tesir kesitleri Talys 1.96 son versiyon kullanılarak elde edilmiştir. Direkt, denge-öncesi ve bileşik süreçlerin toplam tesir kesitine katkıları ayrı ayrı incelenmiştir. Bileşik kısmın en büyük katkıya sahip olduğu sunulmuştur. Hesaplama sonuçları EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:**  $^{209}\text{Bi}$ , DDX, nötron ile indüklenen reaksiyon, nötron yayma reaksiyonu, Talys 1.96

#### INTRODUCTION

There are many ways to describe the interplay between incident particles and target nuclei. The three major mechanisms of a nuclear reaction are preequilibrium, direct, and compound processes. The compound process dominates the emission of particles induced such as proton, neutron, triton, alpha etc. up to 8 MeV, direct and pre-equilibrium processes are dominant at higher particle emission energies. The compound is also created through the pre-equilibrium and direct processes. All mechanisms can contribute to the capture of a light charged particle. Therefore, the total DDX is generally taken account as the sum of these contributions (Demir et al.,2015; Sarpün et al.,2016; Rajput et al.,2018).

To understand these contributions in detail, light charged particles induced reactions can be analysed.

The DDX have been studied by many groups both experimentally (Lalremruata et al.,2009; Kondo et al.,2007; Marcinkowski et al.,1991) and theoretically (Han, 2006; Zhang et al.,2010). Especially, neutron induced nuclear reactions can be selected to characterize the reaction mechanisms and analyze the nuclear structure with constraints on nuclear models. The nuclear data and their analysis for neutron induced reactions are required in many fields of nuclear technology, industry, medicine etc.

In this study, for  $^{209}\text{Bi}(n,2n)^{208}\text{Bi}$  reaction, total, direct, compound, pre-equilibrium DDX are calculated at three laboratory angles and compared with the experimental data (Schroder et al.,1978) studied with two time-of flight detectors. A neutron detector responds depend on the energy of neutron. The experimental definition of detector

response functions is determined at facilities which are produced monoenergetic neutrons. These neutrons are obtained in the energy range from 120 keV to 20 MeV for widely used nuclear reactions.  $^{209}\text{Bi}$  is a single quasi stable isotope of bismuth, an alpha emitter with a half-life of  $1.9 \times 10^{19}$  years (De Marcillac et al., 2003) and the heaviest of all radioactively stable isotopes. It is near magical in terms of the number of protons ( $Z=83$ ) and magical in terms of the number of neutrons ( $N=126$ ). It is the end point of the s process path and its abundance is known as s process component in the He-shell (Travaglio et al., 2001). Bismuth is also used with lead (Fazio et al., 2008) in the neutron activation studies for the advanced nuclear reactors (Semkova et al., 2009; Toshinsky et al., 2012). Therefore,  $^{209}\text{Bi}$  is used as a target material. Talys 1.96 computer code is used for the calculations. It is chosen because of its success and usefulness in the simulation of nuclear reactions. The Kalbach-Mann systematics (Kalbach and Mann, 1981; Kalbach, 1982) are preferred for DDX calculations in the code because of play an important role in the pre-equilibrium reaction studies. For compound and direct processes, Hauser-Feshbach, exciton model, and optical model parameters are used (Hauser and Feshbach, 1952; Koning and Delaroche, 2003). There are many theoretical studies (Yiğit, 2021; Özdoğan et al., 2021a; Sadeghi et al., 2010; Kara et al., 2021; Şekerci et al., 2020; Kaplan et al., 2015; Kaplan et al., 2013; Özdoğan, 2021; Küçükşucu et al., 2022; Özdoğan et al., 2021b; Canbula, 2021; Canbula, 2017; Canbula, 2020) using Talys computer code for neutron induced or neutron emission nuclear reactions in the literature.

The rest of this paper is arranged as follows: In section Material and Methods, we give our calculation method. In section Results and Discussion, we represent our results and their discussions. Finally in section Conclusions, we present some concluding remarks.

## MATERIAL AND METHODS

The calculations are performed with Talys computer code (Koning et al., 2021). It is a program using the simulation of nuclear reactions. It enables us to describe all reaction channels and takes into account all types of reaction mechanisms to determine the total cross section probability. One of the major purpose of Talys is to determine all of

answers for all open channels of a nuclear reaction, and associated with the cross sections.

A powerful phenomenological approach Kalbach formula (Kalbach, 1988) is preferred to calculate the DDX for light charged particle based on a systematical work on a wide range of data. This approach is only based on experimental knowledge and a pre-equilibrium process consists of a multistep compound and multistep direct parts. The DDX for a projectile  $a$  and an ejectile  $b$  is given below

$$\frac{d^2\sigma_{a,xb}}{dE_b d\Omega} = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{d\sigma^{PE}}{dE_b} + \frac{d\sigma^{comp}}{dE_b} \right] \frac{a}{\sinh(a)} [\cosh(a\cos\theta) + f_{MSD}(E_b) \sinh(a\cos\theta)] \quad (1)$$

where  $\frac{d\sigma^{PE}}{dE_b}$  is the angle integrated preequilibrium, and  $\frac{d\sigma^{comp}}{dE_b}$  is compound spectra.  $\theta$  is the emission angle in the center of mass frame.  $f_{MSD}$  is named multistep direct or preequilibrium ratio and given as

$$f_{MSD}(E_b) = \frac{d\sigma^{PE}}{dE_b} / \left[ \frac{d\sigma^{PE}}{dE_b} + \frac{d\sigma^{comp}}{dE_b} \right] \quad (2)$$

which increases from 0 at low emission energy to 1 at the highest energies.  $E_b$  is the outgoing energy. The DDX preequilibrium can be defined as

$$\frac{d^2\sigma_{a,xb}^{PE}}{dE_b d\Omega} = \frac{1}{4\pi} \frac{d\sigma^{PE}}{dE_b} \frac{a}{\sinh(a)} \exp(a \cos\theta) \quad (3)$$

The compound cross section  $\sigma^{comp}$  which is the basic feeding term for preequilibrium, is given by

$$\sigma^{comp} = \sigma_{tot} - \sigma_{direct} \quad (4)$$

where  $\sigma_{tot}$  is the total cross section and directly provided from the optical model. The direct reaction cross section  $\sigma_{direct}$  is the sum of the cross sections to discrete states  $\sigma_{disc,direct}$  defines as

$$\sigma_{disc,direct} = \sum_i \sum_{k=p,n,t,d,\alpha,h} \sigma_{n,k}^{i,direct} \quad (5)$$

where p,n,t,d, $\alpha$ ,h (proton, neutron, triton, deuteron, alpha, helium) are light ions.

## RESULTS AND DISCUSSION

In this study, DDX of  $^{209}\text{Bi}(n,2n)^{208}\text{Bi}$  reaction is calculated by using Talys computer code below 7 MeV neutron energy at laboratory angles  $20^\circ$ ,  $90^\circ$ , and  $150^\circ$ . Since the cross section results are very close to each other at the intermediate angles, the results at low, medium and high angles are studied. The predicted results at these angles are compared with

the existing experimental data (Schröder et al.,1978) taken from Exfor (EXFOR) library in Figs. 1-3.

The comparison of predictions and experimental data at 20° laboratory angle are shown in Figure 1. The compound cross section makes the biggest contribution to the total cross section. Although, direct and pre-equilibrium cross sections increases when compound cross section decreases at increasing energies. The preequilibrium cross section becomes more dominant than compound cross section at the emission energy range between 5-7 MeV. The calculated total DDX is in agreement with the experimental data at 20° laboratory angle. Figure 2 shows the comparison of obtained DDXs with the experimental data at 90° laboratory angle.

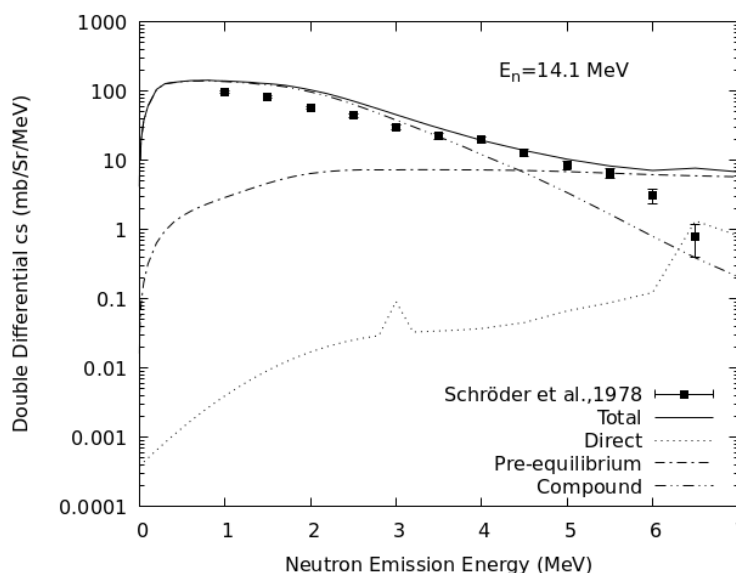
The neutron particles up to the most probable energies are dominantly emitted through the compound process whereas the higher energy neutron particles are mostly emitted through the preequilibrium and direct processes. The predicted total cross section deviates a little from the experimental data at increasing energies.

In Figure 3, calculations of DDXs are performed at 150° laboratory angle and are compared with the data. The dominant effect of the compound process is clearly seen in this reaction as well. The total DDX is in good agreement at all energy region, especially after 3 MeV compared to the other Figures.

**CONCLUSION**

In summary, we aim to calculate and analyze the DDX of <sup>209</sup>Bi(n,2n)<sup>208</sup>Bi reaction at several laboratory angles. The following concluding remarks can be written from this work:

- The predictions provide reasonable distributions of double-differential cross section with neutron emission energies for selected laboratory angles.
- For all laboratory angles, compound contribution is the most dominant from the other contributions (preequilibrium and direct).
- The calculated total differential cross section reproduce the experimental data quite well after 3 MeV neutron emission energy for 20° and 150° laboratory angles.
- The direct double differential cross section shows the least contribution to the total up to around 6 MeV neutron emission energy at all laboratory angles.
- It is observed from the figures that, direct reaction cross sections have two peaks, however compound reaction cross sections have a smooth behavior at all laboratory angles.
- The direct process contribution has sharper and higher peaks at increasing laboratory angles.



**Figure 1.** The comparison of DDX of <sup>209</sup>Bi (n,2n)<sup>208</sup>Bi reaction with the experimental data at 20° laboratory angle

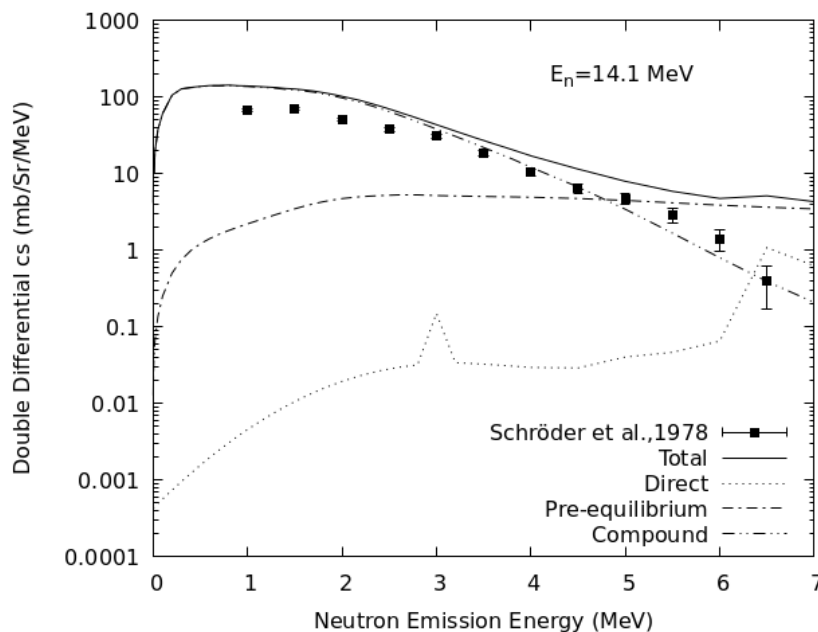


Figure 2. The comparison of DDX of  $^{209}\text{Bi} (n,2n)^{208}\text{Bi}$  reaction with the experimental data at  $90^\circ$  laboratory angle

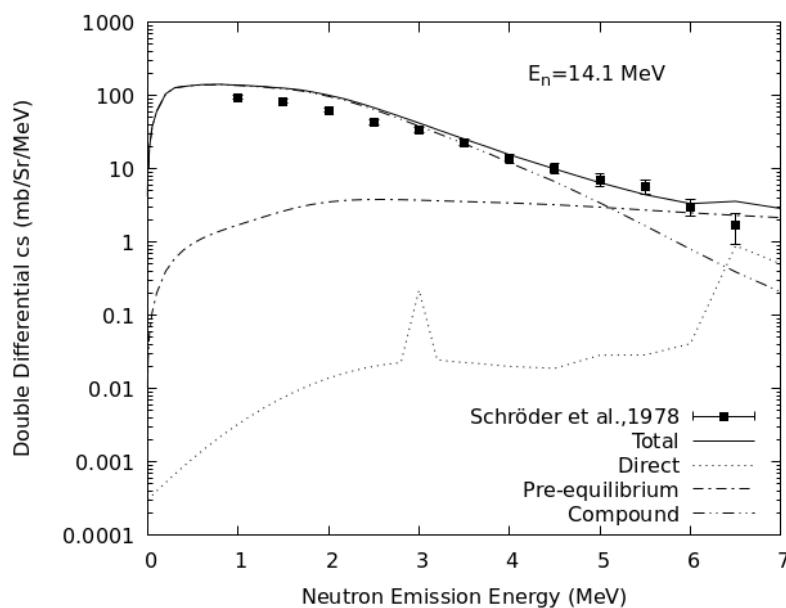


Figure 3. The comparison of DDX of  $^{209}\text{Bi} (n,2n)^{208}\text{Bi}$  reaction with the experimental data at  $150^\circ$  laboratory angle

### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

### REFERENCES

- Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center, EXFOR/CSISRS (Experimental Nuclear Reaction Data File). (<http://www.nndc.bnl.gov/exfor/>)
- Canbula, B. (2017). Bazı tellür izotoplarının nötron yakalama tesir kesiti analizi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 13(2), 445-455.
- Canbula, B. (2020).  $^{55}\text{Mn}$  İzotopunun fotonükleer tesir kesitleri üzerinde kolektif nükleer seviye

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1081660

- yoğunluğunun etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 138-142.
- Canbula, D. (2021). Hafif Nadir Toprak Elementi 144Sm İzotopunun Fotonükleer Tesir Kesiti Hesabı. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(2), 314-320.
- De Marcillac, P., Coron, N., Dambier, G., Leblanc, J., & Moalic, J. P. (2003). Experimental detection of  $\alpha$ -particles from the radioactive decay of natural bismuth. *Nature*, 422(6934), 876-878.
- Demir, B., Sarpün, İ. H., Kaplan, A., Çapalı, V., Aydın, A., and Tel, E. (2015). Double differential cross section and stopping power calculations of light charged particle emission for the structural fusion materials 50, 52Cr. *Journal of Fusion Energy*, 34(4), 808-816.
- Fazio, C., Gröschel, F., Wagner, W., Thomsen, K., Smith, B. L., Stieglitz, R., ... Knebel, J. U. (2008). The MEGAPIE-TEST project: Supporting research and lessons learned in first-of-a-kind spallation target technology. *Nuclear Engineering and Design*, 238(6), 1471-1495.
- Han, Y. (2006). The double differential cross section for  $n + U^{238}$  reaction. *Nuclear Physics A*, 780(1-2), 34-51.
- Hauser, W., and Feshbach, H. (1952). The inelastic scattering of neutrons. *Physical review*, 87(2), 366.
- Kalbach, C. (1982). Possible energy parameters for continuum angular distributions. *Physical Review C*, 25(6), 3197.
- Kalbach, C. (1988). Systematics of continuum angular distributions: Extensions to higher energies. *Physical Review C*, 37(6), 2350.
- Kalbach, C., Mann, F. M. (1981). Phenomenology of continuum angular distributions. I. Systematics and parametrization. *Physical Review C*, 23(1), 112.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E. (2013). ( $\gamma$ , 2n) Reaction Cross Section Calculations on Several Structural Fusion Materials. *Journal of Fusion Energy*, 32(4), 431-436.
- Kaplan, A., Sarpün, İ. H., Aydın, A., Tel, E., Çapalı, V., Özdoğan, H. (2015). ( $\gamma$ , 2n)-Reaction cross-section calculations of several even-even lanthanide nuclei using different level density models. *Physics of Atomic Nuclei*, 78(1), 53-64.
- Kara, A., Yılmaz, A., Yiğit, M. (2021). Monte Carlo simulations of chromium target under proton irradiation of 17.9, 22.3 MeV. *Nuclear Engineering and Technology*, 53(10), 3158-3163.
- Kondo, K., Murata, I., Ochiai, K., Kubota, N., Miyamaru, H., Takagi, S., ... & Nishitani, T. (2007). Verification of nuclear data for DT neutron induced charged-particle emission reaction of light nuclei. *Fusion engineering and design*, 82(15-24), 2786-2793.
- Koning, A. J., Hilaire, S., Goriely S. (2021). TALYS-1.96 A Nuclear Reaction Program, User Manual, Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), Netherlands.
- Küçüksucu, S., Yiğit, M., Paar, N. (2022). Statistical Hauser-Feshbach Model Description of ( $n$ ,  $\alpha$ ) Reaction Cross Sections for the Weak  $s$ -Process. *Universe*, 8(1), 25.
- Lalremruata, B., Dhole, S. D., Ganesan, S., & Bhoraskar, V. N. (2009). Double differential cross-sections of ( $n$ ,  $\alpha$ ) reactions in aluminium and nickel at 14.77 MeV neutrons. *Nuclear Physics A*, 821(1-4), 23-35.
- Marcinkowski, A., Rapaport, J., Finlay, R. W., Aslanoglou, X., & Kielan, D. (1991). Neutron emission cross sections on  $^{93}\text{Nb}$  and  $^{209}\text{Bi}$  at 20 MeV incident energy. *Nuclear Physics A*, 530(1), 75-93.
- Özdoğan, H. (2021). Estimation of ( $n$ ,  $p$ ) reaction cross sections at  $14.5 \pm 0.5$  MeV neutron energy by using artificial neural network. *Applied Radiation and Isotopes*, 170, 109584.
- Özdoğan, H., Üncü, Y. A., Şekerci, M., Kaplan, A. (2021a). Estimations of level density parameters by using artificial neural network for phenomenological level density models. *Applied Radiation and Isotopes*, 169, 109583.
- Özdoğan, H., Üncü, Y. A., Şekerci, M., Kaplan, A. (2021b). A study on the estimations of ( $n$ ,  $t$ ) reaction cross-sections at 14.5 MeV by using artificial neural network. *Modern Physics Letters A*, 36(23), 2150168.
- Rajput, M., Vala, S., Srinivasan, R., Abhangi, M., Subhash, P. V., Pandey, B., ... & Bora, D. (2018). Calculated differential and double differential cross section of DT neutron induced reactions on natural chromium (Cr). *Indian Journal of Physics*, 92(1), 91-96.
- Sadeghi, M., Kakavand, T., Alipoor, Z. (2010). 85 Sr production via proton induced on various targets using TALYS 1.0 code. *Modern Physics Letters A*, 25(18), 1541-1552.
- Sarpün, İ. H., Aydın, A., & Koning, A. (2016). Double Differential Proton and Alpha Emission Cross Sections for Structural Fusion Materials 94, 95, 96Mo. *Journal of Fusion Energy*, 35(5), 725-729.
- Schröder, V., Scobel, W., Wilde, L., & Bormann, M. (1978). On the mechanism of the ( $n$ , 2n) reaction with 14MeV projectiles on  $^{127}\text{I}$  and  $^{209}\text{Bi}$ . *Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei*, 287(3), 353-362.
- Semkova, V., Reimer, P., Altitzoglou, T., Plompen, A. J. M., Quérel, C., Sudár, S., ... Smith, D. L. (2009). Neutron activation cross sections on lead isotopes. *Physical review C*, 80(2), 024610.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1081660

- Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A. (2020). An investigation of effects of level density models and gamma ray strength functions on cross-section calculations for the production of  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{169}\text{Er}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  and  $^{186}\text{Re}$  therapeutic radioisotopes via (n,  $\gamma$ ) reactions. *Radiochimica Acta*, 108(1), 11-17.
- Toshinsky, G., and Petrochenko, V. (2012). Modular lead-bismuth fast reactors in nuclear power. *Sustainability*, 4(9), 2293-2316.
- Travaglio, C., Gallino, R., Busso, M., Gratton, R. (2001). Lead: asymptotic giant branch production and galactic chemical evolution. *The Astrophysical Journal*, 549(1), 346.
- Yiğit, M. (2021). Study of cross sections for (n, p) reactions on Hf, Ta and W isotopes. *Applied Radiation and Isotopes*, 174, 109779.
- Zhang, Z., Han, Y., & Cai, C. (2010). Double differential cross sections of light charged particle emission in neutron induced reactions on  $^{54}$ ,  $^{56}$ ,  $^{57}$ ,  $^{58}\text{Fe}$ . *Annals of Nuclear Energy*, 37(2), 130-143.

## Temporal and Spatial Variations of Zooplankton Community and Biochemical Response due to Water Quality in a Deep Dam Lake (Turkey)

Duygu Özhan Turhan\*, Didem Gökçe

Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Inonu University, Malatya, 44280, Turkey

\*duygu.turhan@inonu.edu.tr , didem.gokce@inonu.edu.tr 

Received date:06.03.2022, Accepted date: 07.04.2022

### Abstract

In this study, the zooplankton community and its relationship with environmental factors were investigated in the Karakaya Dam Lake (KDL). The physico-chemical characterization showed that there were obvious changes in the water quality and zooplankton population structure, which was mainly due to the organic matter source. Reactive phosphate (SRP) and nitrogen values were found in low concentrations. A total of 22 zooplankton taxa were determined, including 14 taxa of Rotifera, followed by 6 taxa of Cladocera and 2 taxa of Copepoda. The most abundant species were *Synchaeta oblonga* (Rotifera), *Bosminia longirostris* (Cladocera), and *Cyclops scutifer* (Copepoda). The abundance of zooplankton was highest in spring. Canonical correspondence analysis (CCA) was used to examine relationships between measured environmental variables and zooplankton composition. According to CCA, dissolved oxygen, and SRP values, there was a significant relation to zooplankton abundant with these factors. The triplots diagram demonstrated variations of the structure of zooplankton population composition which can be explained by the environmental variables. Oxidative stress (catalase, glutathione S-transferase, glutathione reductase) and neurotoxicity (acetyl cholinesterase) biomarkers were analyzed in copepod species. Glutathione reductase and acetyl cholinesterase activities were significantly inhibited in the summer. Catalase activity was induced in the spring. The seasonal changes of biomarker indicated that the KDL may be at risk of pollution that originated from agricultural and industrial activities.

**Keywords:** Community structure, zooplankton, water quality, oxidative stress, Karakaya Dam Lake

## Derin Bir Baraj Gölü'nde (Türkiye) Zooplankton Topluluğunun Zamansal ve Mekansal Değişimleri ve Su Kalitesine Bağlı Biyokimyasal Cevabı

Bu çalışmada, Karakaya Baraj Gölü'nde (KDL) zooplankton topluluğu ve çevresel faktörlerle olan ilişkileri araştırıldı. Fiziko-kimyasal karakterizasyon, su kalitesi ve zooplankton populasyon yapısında, esas olarak organik madde kaynağından kaynaklanan değişiklikler olduğunu gösterdi. Reaktif fosfat (SRP) ve azot değerleri düşük konsantrasyonlarda bulundu. Rotifera'nın 14 taksonu, Cladocera'nın 6 taksonu ve Copepoda'nın 2 taksonu olmak üzere toplam 22 zooplankton taksonu tespit edildi. En bol bulunan türler *Synchaeta oblonga* (Rotifera), *Bosminia longirostris* (Cladocera) ve *Cyclops scutifer* (Copepoda) olarak belirlendi. Zooplankton bolluğu, ilkbaharda en yüksek seviyede idi. Analiz edilen çevresel değişkenler ile zooplankton bileşimi arasındaki ilişkileri incelemek için kanonik uyum analizi (CCA) kullanıldı. CCA verilerine göre, çözünmüş oksijen ve SRP değerleri ile zooplankton arasında anlamlı bir ilişki gözlemlendi. Triplot diyagramı, çevresel değişkenlerle açıklanabilen zooplankton populasyon kompozisyonunun yapısının varyasyonlarını gösterdi. Oksidatif stres (katalaz, glutatyon S-transferaz, glutatyon redüktaz) ve nörotoksinite (asetil kolinesteraz) biyobelirteçleri copepod türlerinde analiz edildi. Glutatyon redüktaz ve asetil kolinesteraz aktivitelerinin yaz aylarında önemli ölçüde inhibe olduğu gözlemlendi. Katalaz aktivitesi ilkbaharda indüklendi. Biyobelirteçlerin mevsimsel değişiklikleri, KDL'nin tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik riski altında olabileceğini gösterdi.

**Anahtar Kelimeler:** Kominite yapısı, zooplankton, su kalitesi, oksidatif stres, Karakaya Baraj Gölü

## INTRODUCTION

The watercourse ecosystems are habitats for many aquatic organisms which play an important role in continuing the food web (Sarker et al., 2018). Due to the continuous increase of xenobiotic compounds and various industrial and domestic wastes, pollution of aquatic ecosystems has been a major concern in recent years (Park et al., 2020). Therefore, it is important to control water pollution, monitor water quality, and comment on the changes in water quality (Khadse et al., 2019; Jia et al., 2019). Water pollution can affect organisms at the molecular and biochemical levels including neurotoxicity, genetic toxicity, oxidative stress, reproductive properties and population structure (Demailly et al., 2019; Park et al., 2020; Hussain et al., 2020). Antioxidant enzyme responses of these organisms are essential for determining mechanisms of toxicity. When the antioxidant defense system is active, reactive oxygen species (ROS) homeostatic balance is protected. This means, organisms can be protected from the toxic effects of (ROS) (Klumpenet al., 2017; Souza et al., 2019; Akbulut and Turhan, 2021). Exposure to pollutants may results in an increase in ROS production and antioxidant activity. Catalase (CAT), glutathione S-transferase (GST), and glutathione reductase (GR) are the beneficial antioxidant enzymes that aquatic organisms produce to reduce the harmful effects of ROS (Liu et al., 2018; Park et al., 2020). In addition, acetyl cholinesterase (AChE) activity acts as a biomarker when exposed to organophosphate pesticides (Tiwari et al., 2019).

Consequently, the description and monitoring of pollutants in the ecosystem has to be based on a temporal (seasonal) scale and from a multi-biomarker approach. On the other hand, biomonitoring studies should be performed with suitable indicator species (Barka et al., 2020). Zooplankton, one of the indicator species, play an important role in the transfer of energy and nutrients from producers to secondary consumers and are very susceptible to environmental changes (Gorokhova et al., 2016; Gökçe et al., 2018; Kadiene et al., 2019; Gökçe et al., 2020).

Copepods are dominant members of zooplankton communities and are frequently used as a model organism in ecotoxicological studies (Hussain et al., 2020). Di-Marzio et al (2013) enounced that the influences of pollutants on copepods in freshwater environments have been poorly studied even though they are considered a suitable candidate for toxicity assays. In the present study, using the copepods, *Cyclops scutifer* and *Microcyclops varicans*, as model organisms, we investigated their biochemical response to the effects of pollutants in KDL evaluations of biochemical parameters (CAT, GST, GR and AChE). In this study, the spatial and temporal variation of water quality and pollutants on the zooplankton community in KDL in the upper Euphrates River were investigated. The aims of this study were to 1) reveal the ecosystem properties of KDL, located on the upper Euphrates River Basin by examining water quality values, 2) investigate spatial and temporal zooplankton community dynamics, and 3) evaluate the effects of physical-chemical variables of ecosystem quality on the Copepods using a range of biological markers. Thus, assessment and monitoring of Karakaya Dam ecosystem health status were performed and reliable data were obtained for future monitoring assessment.

## MATERIAL AND METHODS

### Field sampling and laboratory analyses

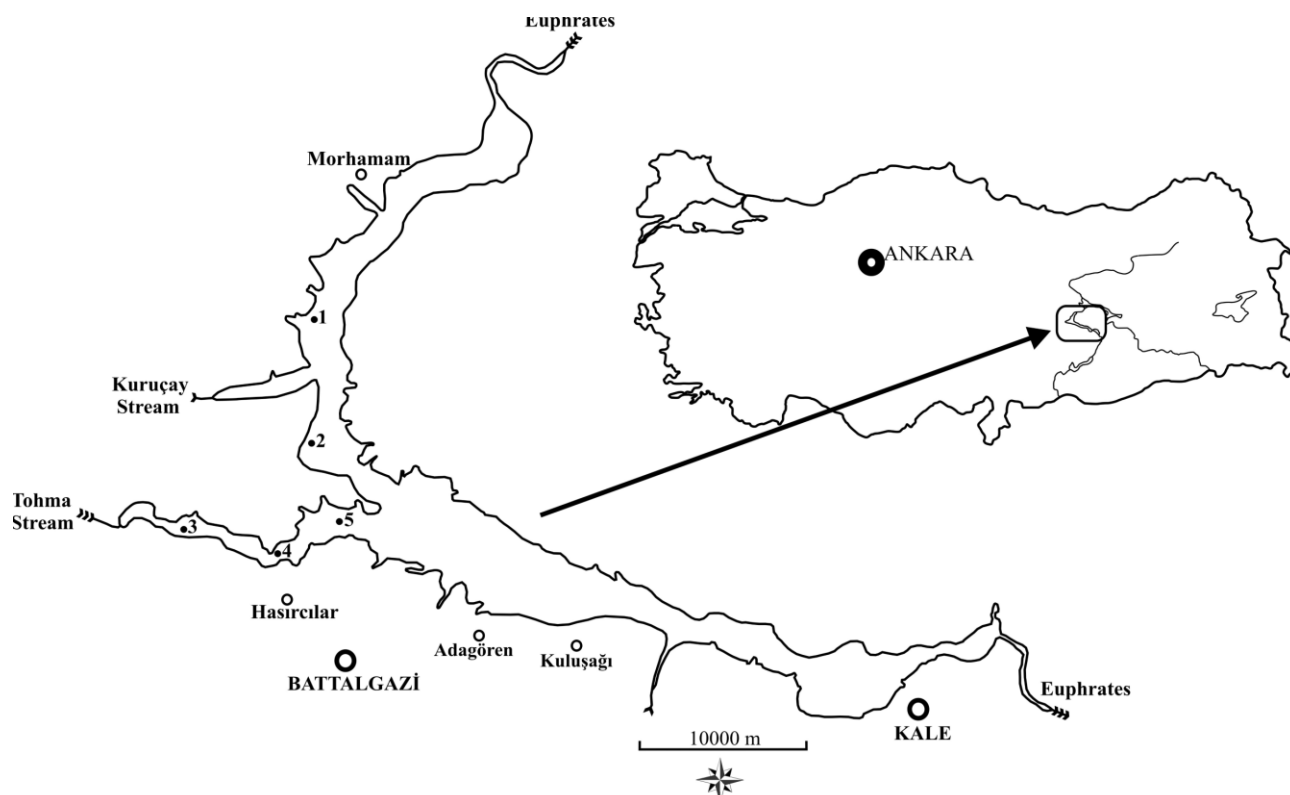
The Euphrates, one of the world's most important transboundary rivers, originates in the east of Anatolia and empties into the Persian Gulf (Uçkun and Gökçe, 2015). Karakaya Dam, which is an important water reservoir on the Euphrates River Basin, is one of the most important water resources in terms of both irrigation and fishing.

The sampling points in Karakaya Dam Lake were chosen to determine the limnological structure of the lake, as well as the effect of the residential areas on the lake and 5 sampling points were determined to show ecosystem quality and pollutants entering the system (Figure 1). St.3, St.4 and St.5 sampling points are the regions where the untreated/partially treated wastes from the

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1083588

Organized Industrial Zone are mixed with the lake ecosystem and this area is a narrow bay. St.1 and st.2 sampling points are the wider part of the dam morphometry. St.2 had a very shallow depth of about 5 m. St 1 had the depth of about 35 m and

St.3, St.4 and St.5, each had a depth of nearly 16 m. The water and zooplankton samples were collected per month between October 2010 and November 2011.



**Figure 1.** Map of Karakaya Dam Lake. Sampling stations surveyed in this study are indicated.

Water samples were taken at 5 meter intervals with a Ruttner water sampler (Hydro-Bios, 2 L). Temperature, dissolved oxygen (YSI-55), conductivity (EC25; YSI-30), and pH (YSI-60) were measured in the field. Dissolved oxygen (DO; YSI 55), temperature, pH (YSI-60), and conductivity (EC25; YSI-30) were determined in the field. Ammonium (NH<sub>4</sub>-N; DIN38 406-E5-1 standard method), nitrite (NO<sub>2</sub>-N; DIN38 405-D10 standard method), nitrate (NO<sub>3</sub>-N; DIN38 405-D9-2 standard method) and soluble reactive phosphate (SRP; DIN38 405-D11-1 standard method) were determined from filtered water samples in the laboratory (Gökçe, 2014).

Zooplankton samples were obtained by filtration of 100 L of water using 55- $\mu$ m pore-sized plankton net (Hydro-Bios) and were stored in 4% formaldehyde. 80 individuals of copepod were kept

for enzymatic activity analysis at -40 °C by washing twice in 10 mL centrifuge tubes. An inverted microscope (Leica DM), and identify the zooplankton taxa (Armengol et al., 1998; Ustaoglu 2004).

#### Antioxidant enzymes analyses

##### Sample preparation

Preliminary studies were done to optimize the methodology including whole-body copepod use in the biochemical analyses. As a result of the examined samples under the microscope, it was determined that the dominant copepod in the water was *C. scutifer* with rate of 92.4%. Since it is not possible to separate organisms while performing biochemical analyzes, organisms were used in the analysis without separating them. Copepod samples (80 individuals) were sonicated in K-phosphate buffer, at pH 7.4 and then the samples were

centrifuged at 10000 rpm for 10 min at 4°C. The supernatants were used as enzyme sources for CAT,

GR, GST and AChE activities.

### Biochemical assays

Enzyme activities were determined using a spectrophotometer. Assays were run in triplicate. The total protein content was determined by the Bradford (1976) method using BSA as the standard.

CAT activity assay was performed according to Luck (1963). The decomposition of the substrate  $H_2O_2$  was monitored spectrophotometrically.

GR activity was measured using the method Cribb et al., (1989). The solution includes NADPH, and GSSG in potassium phosphate buffer containing EDTA. The reaction was started by the addition of the GSSG and the decrease in absorbance. The enzyme activity was indicated as  $nmol\ min^{-1}\ mg\ protein^{-1}$ .

GST assay was performed according to Habig et al. (1974) using 1-chloro-2, 4-dinitrobenzene (CDNB) as a substrate. The assay mixture contained CDNB, sample, 0.01 M Tris buffer and GSH. GSH was used as the cofactor in the reaction and absorbance was recorded.

AChE activity analysis was measured from the method presented in Ellman et al. (1961). Acetylthiocholine iodide (ATCh) was used with 5,5-dithiobis-2-nitrobenzoate (DTNB) as the thiol indicator. 0.1 M phosphate buffer (pH 8.0), 0,01 M DTNB, and 0.015 M of acetyl choline iodide was added. The absorbance was measured at 5 min and 12 min at 412 nm. All measured enzyme activity values were indicated as  $nmol\ min^{-1}\ mg\ protein^{-1}$ .

### Data analyses

The Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ) (Shannon and Weaver, 1963; Derevenskaia et al., 2021) and species abundance ( $ind\ m^{-3}$ ) were calculated using the zooplankton taxa community (Djurhuus et al, 2018). CANOCO (version 4.5) was used to perform a canonical correspondence analysis (CCA) to examine the variation in zooplankton composition due to temporal and spatial distributions of environmental variables (Jongman et al., 1995; Lepš and Šmilauer, 2003). Before the CCA, the species data was transformed by  $\log_{10}(x+1)$ . The CCA findings were shown in a triplots graphic that combined response factors (zooplankton species and biomarkers) with

environmental variables. Biomarker data were analyzed using GraphPad Prism (Version 5.0; Graph Pad Software Inc., USA). Data were compared using the Kruskal-Wallis test followed by the unpaired t test (for pairwise comparisons) (Yamamuro et al., 2019).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physico-chemical properties of KDL

Determining the physico-chemical properties of the KDL water and the seasonal and spatial biomarker levels of copepod living in this reservoir are important in terms of evaluating the health of the reservoir. Temperature is the vital factor that affects the metabolic activities of aquatic organisms (Akther et al., 2018; Bulut et al., 2021). The water temperature of KDL varied between 8-30.4 °C (Table 1). According to the temperature values, thermal stratification was observed in October 2010, April, May, June, July, August, September and October 2011 (Figure 2). The area between the surface layer of the lake and the depth of five meters is defined as the epilimnion layer at all stations of KDL. On the other hand, the DO value, which varies according to temperature, photosynthesis rate of organisms and water regime of lakes, is an important factor for the health of aquatic organisms (Guo et al., 2021). According to the correlation analysis, DO and SRP values were found to be significantly related to other water quality variables ( $r= 0.944$  and  $r= 0.885$ ,  $p<0.005$ ; respectively). DO concentrations had varied from 1.11-13.13  $mg\ L^{-1}$  and were observed at very low values in the summer. These results may be due to the increase in temperature during the summer months. Güher and Öterler (2020) reported that the water DO concentration changes inversely with the temperature change. DO values in spring were higher than other seasons in all sampling stations (Table 1). This situation may be due to the circulation of the lake water and the increase in phytoplankton during the sampling period (Gökçe, 2014). Khan and Bari (2019) reported a positive relationship between DO concentration and total phytoplankton density in the aquatic ecosystem.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1083588

**Table 1.** Physicochemical parameters (Mean ±SD values) according to stations and seasons in KDL between October 2010 and November 2011

Season	Stations	Secchi	DO (mg L <sup>-1</sup> )	T (°C)	pH	EC (µS cm <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (µg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	SPR (µg L <sup>-1</sup> )
Autumn	1	3.4 ± 0.3	6.4 ± 0.5	15.9 ± 2.9	8.4 ± 0.3	390.9 ± 39.1	0.008 ± 0.001	0.9 ± 1.1	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.04
	2	2.9 ± 0.2	7.4 ± 0.7	19.1 ± 4.6	8.8 ± 0.2	406.5 ± 43.9	0.007 ± 0.002	0.6 ± 0.9	0.02 ± 0.06	0.07 ± 0.09
	3	2.6 ± 0.1	4.7 ± 0.6	18.2 ± 3.7	8.4 ± 0.3	486.2 ± 12.3	0.004 ± 0.001	1.1 ± 0.9	0.03 ± 0.08	0.03 ± 0.04
	4	2.7 ± 0.2	4.9 ± 0.8	17.4 ± 3.7	8.5 ± 0.5	485.5 ± 46.3	0.007 ± 0.001	1.2 ± 1.2	0.03 ± 0.08	0.04 ± 0.06
	5	2.7 ± 0.2	5.0 ± 1.0	17.3 ± 3.9	8.5 ± 0.5	446.9 ± 26.8	0.007 ± 0.001	1.4 ± 1.2	0.02 ± 0.06	0.04 ± 0.04
Winter	1	3.9 ± 0.5	7.5 ± 0.8	10.2 ± 2.4	8.4 ± 0.2	412.5 ± 26.6	0.001 ± 0.001	0.3 ± 0.6	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.03
	2	3.6 ± 0.3	7.6 ± 0.8	10.6 ± 2.4	8.3 ± 0.5	403.5 ± 8.0	0.003 ± 0.002	0.6 ± 0.6	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01
	3	2.9 ± 0.3	7.4 ± 0.9	10.7 ± 2.3	8.6 ± 8.6	441.4 ± 23.7	0.001 ± 0.001	0.3 ± 0.5	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.02
	4	3.0 ± 0.3	7.5 ± 0.7	10.6 ± 1.8	8.6 ± 0.1	437.5 ± 24.1	0.002 ± 0.001	1.1 ± 0.9	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.03
	5	2.8 ± 0.2	7.4 ± 0.9	10.3 ± 1.9	8.6 ± 0.1	421.9 ± 13.4	0.003 ± 0.001	0.8 ± 0.6	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.02
Spring	1	2.9 ± 0.1	8.8 ± 0.5	13.3 ± 3.5	8.7 ± 0.4	412.5 ± 26.5	0.002 ± 0.002	0.3 ± 0.7	0.00 ± 0.00	0.32 ± 0.70
	2	2.3 ± 0.4	9.4 ± 0.6	16.8 ± 5.0	8.9 ± 0.1	404.9 ± 6.4	0.006 ± 0.013	1.0 ± 1.9	0.00 ± 0.00	2.70 ± 6.60
	3	1.4 ± 0.5	8.6 ± 1.2	16.7 ± 3.9	8.9 ± 0.5	405.7 ± 9.3	0.019 ± 0.042	0.3 ± 0.6	0.01 ± 0.01	1.30 ± 2.21
	4	1.5 ± 0.4	8.8 ± 1.3	15.7 ± 4.6	8.9 ± 0.5	493.4 ± 38.3	0.017 ± 0.018	1.3 ± 2.0	0.01 ± 0.01	1.40 ± 1.97
	5	1.6 ± 0.7	9.4 ± 0.6	15.5 ± 4.8	9.0 ± 0.3	470.1 ± 28.4	0.016 ± 0.010	0.9 ± 2.0	0.01 ± 0.01	2.90 ± 4.30
Summer	1	2.2 ± 0.2	6.4 ± 0.6	20.7 ± 1.5	8.5 ± 0.4	449.7 ± 21.7	0.000 ± 0.000	0.9 ± 0.7	0.00 ± 0.00	0.07 ± 0.06
	2	1.9 ± 0.2	6.8 ± 0.7	27.0 ± 2.0	8.5 ± 0.3	383.0 ± 7.2	0.000 ± 0.000	0.6 ± 0.8	0.00 ± 0.00	0.06 ± 0.04
	3	1.8 ± 0.1	5.1 ± 0.5	24.0 ± 1.6	8.7 ± 0.4	469.4 ± 18.2	0.003 ± 0.001	1.8 ± 1.7	0.01 ± 0.01	0.16 ± 0.10
	4	1.8 ± 0.1	5.0 ± 1.0	23.4 ± 1.6	8.6 ± 0.3	447.1 ± 19.7	0.003 ± 0.001	1.7 ± 1.6	0.00 ± 0.00	0.14 ± 0.09
	5	1.7 ± 0.1	4.7 ± 0.2	22.6 ± 1.8	8.6 ± 0.4	435.2 ± 24.7	0.004 ± 0.001	1.8 ± 1.4	0.00 ± 0.00	1.10 ± 0.06

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1083588

However, as can be seen in Figure 2, DO was found in low concentrations at the bottom depths of St.3 and St.4 in contrast to the surface water in autumn, spring and summer. This may have resulted

from the oxidation events that took place in the bottom layers of the decomposition of organic materials coming from the organized industrial zone.

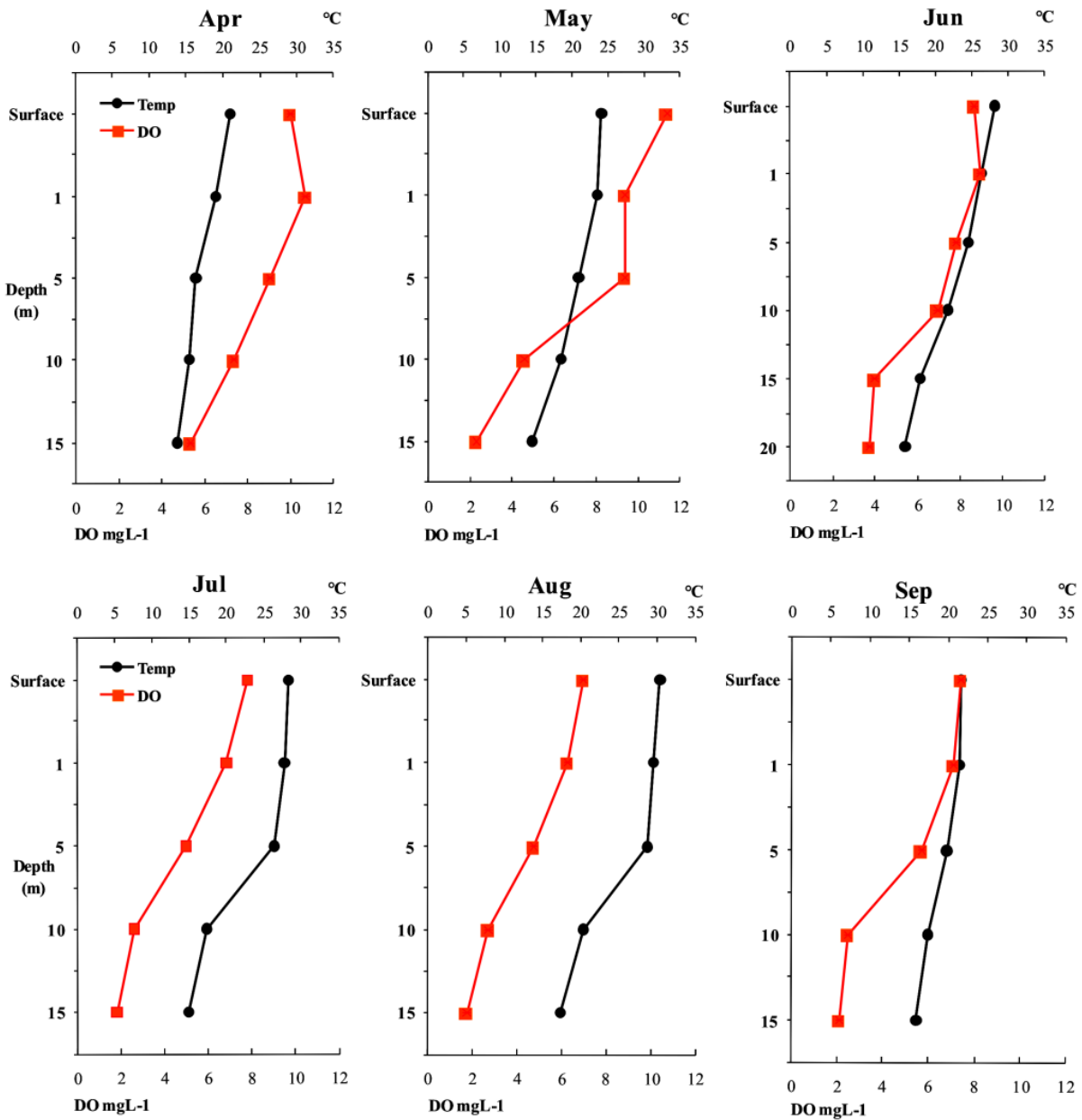


Figure 2. Vertical profiles (every 5 m of depth) of temperature (°C) and dissolved oxygen (mg L<sup>-1</sup>) in KDL.

It was revealed that the temperature was related to pH ( $r= 0.769$ ) and SRP ( $r= 0.680$ ) during the sampling period. Since most of the metabolic reactions of aquatic organisms are pH- dependent, the health of these organisms is affected by pH change (Güher and Öterler, 2020). The pH values generally were in alkaline values (7.2-9.9, January, St.2- April, St.3) in KDL. It was determined by correlation analysis that pH values were related to nitrogen salts ( $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{NH}_4\text{-N}$ ;  $r= 0.656$  and  $r= 0.694$ ,  $p < 0.005$ ; respectively) and SRP ( $r= 0.863$ ).

Electrical conductivity (EC) is closely related to ion concentration and temperature of the water (Akther et al., 2018). This situation was also found in the CCA. The EC value in KDL varies between 289.1 and 680  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  (October 2011, St.1 and October 2010, St.3).

Nitrogens and phosphorous are the major limiting factors for aquatic organisms (Deepika et al., 2019; Dorche et al., 2018). In this study,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  and SRP, which are sources of nitrogen and phosphorus, were generally found at low concentrations in KDL (Table 1). The data is compatible with a previous study on the physico-chemical properties of KDL water (Gökçe and Turhan, 2014). Among the studied parameters,  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration was determined higher in the spring season than in other seasons (Table 1). It is thought that this situation may be caused by the entry of agricultural and domestic pollutants into the lake water through precipitation. In a previous study, Arab et al. (2019) reported that the increase in  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration in the aquatic ecosystem is due to the conversion of  $\text{NH}_4\text{-N}$  into  $\text{NO}_3\text{-N}$ , which is discharged into the environment from domestic and agricultural activities.  $\text{NO}_2\text{-N}$ , another nitrogenous compound, is an intermediate oxidation product between  $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{NH}_4\text{-N}$  (Kükrer and Mutlu, 2019). This close interaction was also seen in the correlation analysis ( $r= 0.943$ ).  $\text{NO}_2\text{-N}$

concentrations were determined at relatively low levels ( $\leq 0.002$  mg/L) in all sampling seasons and increased in summer when compared to other seasons (Table 1).

While the concentrations of  $\text{NH}_4\text{-N}$ , another nitrogenous compound, were generally determined as  $\leq 0.03$  mg  $\text{L}^{-1}$  during the study periods, the highest concentration (0.373 mg  $\text{L}^{-1}$ ) was determined at St.4 in October 2010. The low  $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{NO}_2\text{-N}$  concentrations in this period may indicate that the nutrient salts are in the  $\text{NH}_4\text{-N}$  form (Table 1). The highest SRP was determined as 20.33  $\mu\text{g}$   $\text{L}^{-1}$  in March 2011 in St.2. It has been shown in previous studies that there is an increase in the concentration of SRP in the waters of dam lakes in Turkey such as Uzunçayır Dam Lake, Keban Dam Lake and Kayalıköy Reservoir in spring season (Gökçe and Turhan, 2014; Kutlu et al., 2020; Varol, 2020; Güher and Öterler 2020). This increase may have resulted from the agricultural activities carried out around the lake. Hamil et al. (2018) reported that the use of fertilizers containing potassium nitrate may cause increased SRP levels in the aquatic ecosystem.

### Zooplankton composition

During the sampling period, 14 taxa belonging to Rotifera, 6 taxa belonging to Cladocera, 2 taxa belonging to Copepoda equated to a total of 22 zooplankton taxa that were identified (Table 2). The most abundant group was Rotifera (75%), followed by Cladocera (12%) and Copepoda (13%). *S. oblonga* (26560 ind  $\text{m}^{-3}$ ) was the most abundant species of Rotifera, while *B. longirostris* (5040 ind  $\text{m}^{-3}$ ) was the most abundant species of Cladocera. *Notholca squamula* (880 ind  $\text{m}^{-3}$ ) for the rotifer species and *Daphnia longispina* (640 ind  $\text{m}^{-3}$ ) for the cladocera species were detected in very low abundance. *C. scutifer* abundance was about 10720 ind  $\text{m}^{-3}$ , *M. varicans* abundance was 880 ind  $\text{m}^{-3}$ .



**Table 2.** Frequency of zooplankton species in the sampling stations during the study period in KDL

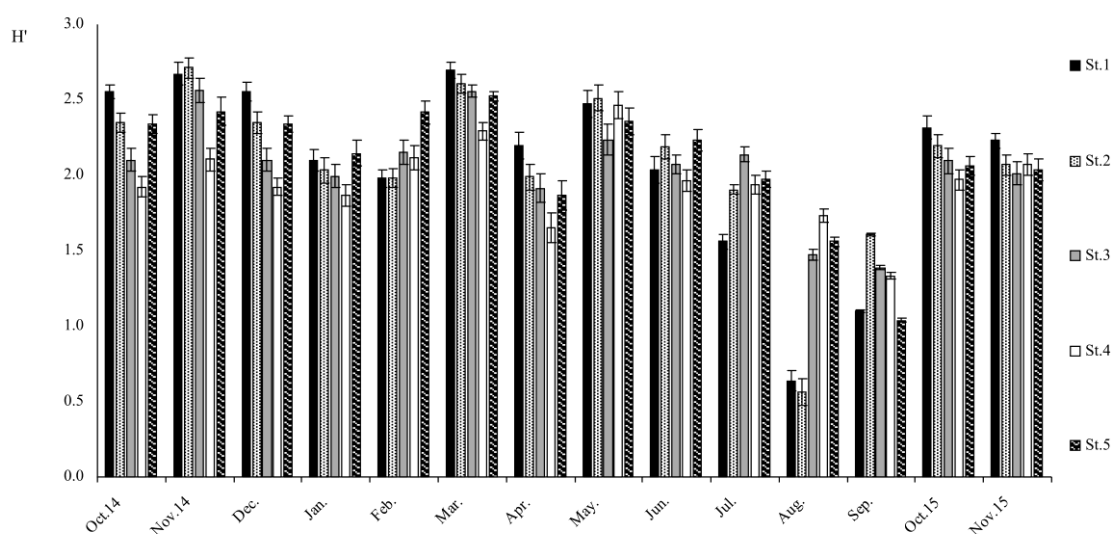
<b>Taxa</b>	<b>St1</b>	<b>St2</b>	<b>St3</b>	<b>St4</b>	<b>St5</b>
<b>Rotifera</b>					
<i>Ascomorpha saltans</i>	****	****	*****	*****	*****
<i>Asplanchna priodonta</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>Brachionus calyciflorus</i>	*	**	**	**	**
<i>Filinia longiseta</i>	**	**	**	**	**
<i>Keratella cochlearis</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>K. quadrata</i>	**	**	**	**	**
<i>K. tecta</i>	**	**	**	**	**
<i>Kellicottia longispina</i>	**	**	**	**	**
<i>Lecane luna</i>	*	*	*	*	*
<i>Lepadella patella</i>	**	**	*		
<i>Notholca squamula</i>	*		*		*
<i>Polyarthra dolicoptera</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>Synchaeta oblonga</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>Trichocerca similis</i>	**	**		*	**
<b>Cladocera</b>					
<i>Alonarectangula</i>	**	**	**	**	**
<i>Bosminialongirostris</i>	**	**	**	**	**
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	**	**	**	**	**
<i>Chydorus sphaericus</i>	**	**	**	**	**
<i>Daphnia longispina</i>	*	*	*	*	*
<i>D. cucullata</i>	**	**	**	**	**
<b>Rotifera</b>					
<i>Cyclops scutifer</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>Microcyclops varicans</i>	*	**	*	*	*
<i>Nauplius</i>	*****	*****	*****	*****	*****

**Table 3.** Density (number of individuals /m<sup>3</sup>, ±SD values) zooplankton species in the sampling stations in KDL

		Density									
Year	Months	St.1		St.2		St.3		St.4		St.5	
2010	October	1520	± 61	1920	± 90	1920	± 98	1280	± 76	2000	± 90
	November	2480	± 121	1920	± 88	2400	± 126	1520	± 100	248	± 141
	December	880	± 67	1440	± 61	1600	± 70	1840	± 67	1680	± 67
2011	January	1840	± 108	1520	± 95	1280	± 78	1120	± 76	1760	± 100
	February	960	± 56	1280	± 74	2720	± 144	2160	± 118	2800	± 130
	March	3120	± 115	2640	± 107	1360	± 55	1680	± 81	1200	± 48
	April	4240	± 254	4160	± 305	5200	± 387	4640	± 408	5360	± 415
	May	5440	± 260	8180	± 383	7120	± 396	10080	± 488	6000	± 320
	June	4080	± 296	4000	± 265	1920	± 109	1680	± 100	1600	± 84
	July	640	± 46	640	± 38	960	± 50	960	± 59	880	± 52
	August	240	± 31	320	± 46	560	± 45	640	± 42	480	± 35
	September	240	± 22	400	± 27	320	± 28	400	± 33	320	± 31
	October	2320	± 111	1840	± 100	1600	± 91	1120	± 66	1200	± 69
	November	1840	± 91	1360	± 76	1600	± 95	1680	± 93	1600	± 93

The abundance of zooplankton was highest in April (23600 ind m<sup>-3</sup>) and May (36820 ind m<sup>-3</sup>), and lowest in July (4080 ind m<sup>-3</sup>), August (2240 ind m<sup>-3</sup>), and September (1680 ind m<sup>-3</sup>) (Table 3). This was due to the increase of phytoplankton in parallel with the increase of temperature and photoperiod in spring. The Shannon–Weaver analysis (H') is an indicator for diversity for water systems. Datta et al. (2010) reported that communities were affected as the stress increases, and accordingly, species diversity decreases with deteriorating criteria of

water quality such as physicochemical properties. Our data demonstrated that KDL is placed in a light state of pollution in fall, winter, and spring, a moderate state of pollution in summer (Table 1). St.5 had the highest diversity (H'=2.09), while St.4 had the lowest diversity of species (H'=1.95). The highest mean diversity was observed in March, (H'=2.53), May (H'=2.40), and the lowest mean diversity was observed in August (H'=1.19) (Figure 3). High levels of nitrate in spring support these results (Table 1).



**Figure 3.** Diversity of zooplankton diversity due to spatial and temporal variation of KDL according to months and sampling stations

### Biochemical assays

In this study, seasonal and regional changes in biomarkers such as CAT, GST, GR, and AChE activities of copepods in KDL were studied. Biomarkers are used to assess the impact of pollutants in aquatic organisms as the first signals of pollution exposure. Numerous studies on aquatic pollution have reported that environmental pollutants cause oxidative stress in aquatic organisms (Barka et al., 2020) (Table 4). Besides pollution, seasonal changes are also indicated as an important factor affecting biomarker responses (Barda et al., 2014). In our study, significant changes were detected in copepod CAT, GR, GST, and AChE activities associated with season (Table 4). On the other hand, interrelated changes were detected between some physico-chemical parameters and some enzyme activities depending on stations and seasons. Similarly, it has been shown in previous studies that interrelated changes were detected between some physico-chemical parameters and biomarkers (Barda et al., 2014; Amira et al., 2018; Pastorino et al., 2020; Djebbi et al., 2021).

In this study, CAT activities of copepods in KDL were higher in spring (Table 4). This increase in CAT activity may be due to changes in energy levels and metabolic activities with the increase in temperature, nutrient amount and reproductive activity in spring (Nahrang et al., 2013). Chainy et al. (2016) reported that seasonal changes in antioxidant defense may be associated with age, reproductive cycle, and food availability. Moreover, many studies reported that higher CAT activities were determined in several aquatic organisms living in polluted fields (Barda et al., 2014; Uluturhan et al., 2019). On the other hand, the fact that the SPR value is relatively high in the spring compared to other seasons (Table 1) may cause an increase in the CAT activity value.

While GR activity did not determine seasonal variation, only St.1 and St.5 determined significant inhibition in the spring (Table 4). Our results showed that AChE activity ranged from 3.36 to 5.26  $\text{nmol min}^{-1} \text{mg protein}^{-1}$ . Similarly, Barka et al. (2020) reported that the AChE activity of copepod collected from the Mcherga reservoir was between 4 and 7  $\text{nmol min}^{-1} \text{mg protein}^{-1}$ .

**Table 4.** Differences in biomarker levels in copepods from KDL according to seasons and sampling stations

Season	Stations	n	GST <sup>a</sup>	GR <sup>a</sup>	CAT <sup>b</sup>	AChE <sup>a</sup>
Autumn	1	3	10.0 ± 1.00	17.7 ± 1.41 <sup>h</sup>	5.14 ± 0.50	4.50 ± 0.16 <sup>u</sup>
	2	3	9.6 ± 0.78 <sup>a</sup>	17.3 ± 1.40	4.89 ± 0.04 <sup>l</sup>	5.07 ± 0.41
	3	3	11.0 ± 1.12 <sup>b</sup>	17.9 ± 0.60	5.65 ± 0.37 <sup>m</sup>	4.75 ± 0.16
	4	3	10.5 ± 2.00	18.2 ± 2.47	5.72 ± 0.52	4.62 ± 0.32 <sup>v</sup>
	5	3	10.1 ± 0.91 <sup>c</sup>	18.1 ± 1.74	5.51 ± 0.45	4.60 ± 0.24 <sup>w</sup>
Winter	1	3	8.0 ± 0.95	17.2 ± 1.31 <sup>j</sup>	5.13 ± 0.43	5.25 ± 0.58 <sup>x</sup>
	2	3	8.1 ± 0.96	15.1 ± 1.15 <sup>1,2</sup>	4.48 ± 0.22 <sup>n,4,5</sup>	4.28 ± 0.44
	3	3	9.5 ± 1.04	19.4 ± 1.26	5.59 ± 0.33 <sup>o,4</sup>	3.87 ± 0.40
	4	3	9.0 ± 0.88	20.4 ± 1.32 <sup>2</sup>	6.00 ± 0.31 <sup>5</sup>	4.48 ± 0.26 <sup>y</sup>
	5	3	8.6 ± 1.02	20.7 ± 0.80 <sup>k,1</sup>	5.38 ± 0.35 <sup>p</sup>	3.76 ± 0.32
Spring	1	3	10.4 ± 0.47 <sup>d</sup>	12.6 ± 1.00 <sup>h,j,3</sup>	5.91 ± 0.25 <sup>6</sup>	4.70 ± 0.37 <sup>z</sup>
	2	3	9.9 ± 0.96 <sup>e</sup>	14.6 ± 0.99	6.52 ± 0.18 <sup>l,n,r</sup>	3.72 ± 0.92
	3	3	12.2 ± 0.73 <sup>f</sup>	16.9 ± 1.18 <sup>3</sup>	7.04 ± 0.32 <sup>m,o,s,6</sup>	3.33 ± 0.65
	4	3	11.7 ± 0.98	15.9 ± 1.15	6.81 ± 0.29	3.42 ± 0.90
	5	3	11.9 ± 0.80 <sup>g</sup>	16.0 ± 1.18 <sup>k</sup>	6.86 ± 0.30 <sup>p</sup>	3.01 ± 0.14
Summer	1	3	6.0 ± 0.60 <sup>d</sup>	17.4 ± 3.00	5.60 ± 0.27	3.58 ± 0.15 <sup>u,x,z</sup>
	2	3	5.8 ± 0.73 <sup>a,e</sup>	17.2 ± 3.09	5.09 ± 0.16 <sup>r</sup>	4.62 ± 1.00
	3	3	7.0 ± 0.50 <sup>b,f</sup>	18.9 ± 4.20	5.95 ± 0.22 <sup>s</sup>	3.36 ± 0.25
	4	3	7.6 ± 1.00	18.3 ± 3.00	6.07 ± 0.41	3.59 ± 0.18 <sup>v,y</sup>
	5	3	6.9 ± 0.20 <sup>c,g</sup>	17.5 ± 2.10	5.73 ± 0.30	3.62 ± 0.15 <sup>w</sup>

<sup>a</sup>: The enzyme activity was indicated as nmol min<sup>-1</sup> mg protein<sup>-1</sup> ± standard error.

<sup>b</sup>: The enzyme activity was indicated as μmol min<sup>-1</sup> mg protein<sup>-1</sup> ± standard error

The same letters indicate the difference when comparing different seasons for the same station ( $p \leq 0.05$ )

The same numbers indicate the difference when comparing different stations for the same season ( $p \leq 0.05$ )

Additionally, it had been observed that AChE activities of copepods in KDL were significantly inhibited in summer. Intense pesticides and fertilizers are used in the summer for gardening around KDL (Varol and Sünbül, 2019). Various neonicotinoid pesticides, including organophosphates known to cause AChE inhibition, are used in apricot orchards around the reservoir (Uluturhan et al., 2019; Djebbi et al., 2021). Results of previous studies showed that the water and sediment of KDL were contaminated with metals such as Fe, Zn, and Cu (Özmen et al., 2006; Gökçe and Özhan, 2011; Ural et al., 2012). Rodriguez et al. (2018) reported that AChE activities in *Paracartia latisetosa* in Lake Faro were at lower levels during the summer. The authors attribute this low enzyme

activity to intensive agricultural activities around the water source.

GST activity in copepods showed the same profile as AChE, with significant inhibition during the summer (Table 4). While the activity of this enzyme increases to reduce the negative effects of pollutants (Amira et al., 2018; Bouzahouane et al., 2018; Vrankovic et al. 2018) it is also known that various pollutants cause inhibition of this enzyme activity in aquatic organisms (Vrankovic et al., 2018). In our study, the inhibition of GST activity in almost all stations in summer may indicate that the pollution is seasonal or that the decrease in activity is due to seasonal physiological changes in sampled organisms (Santos et al., 2021).

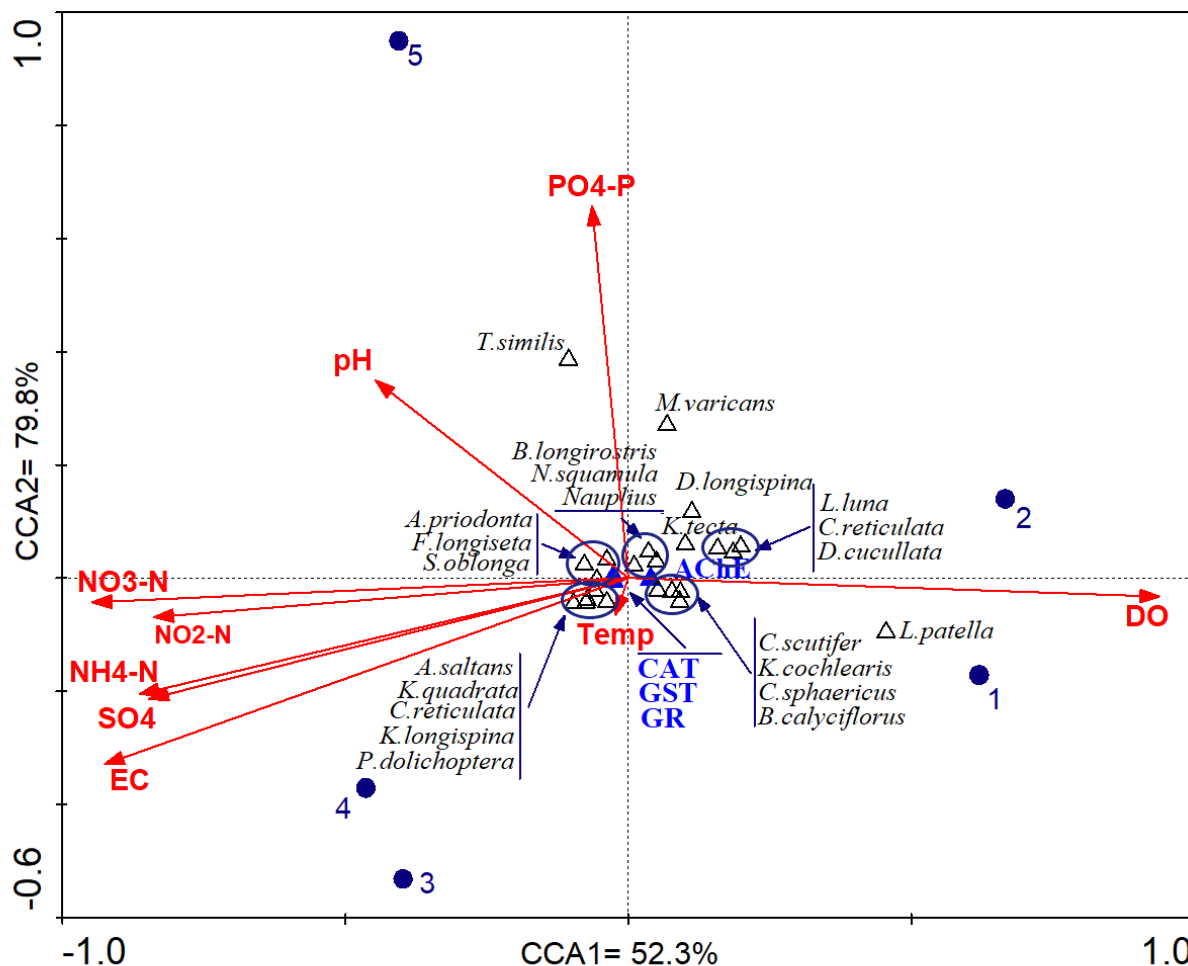
On the other hand, no significant differences were observed between sampling points in GST and AChE activity values (Table 4).

In addition, the decreasing GST and AChE activity in the summer and the increasing CAT activity in the spring may be due to the increase in temperature. Pastorino et al., (2020) reported that temperature may affect biomarkers in aquatic organisms. In addition, increase in water temperature, decrease in DO concentration, and level of lake water in summer may cause a decrease in enzyme activity values in copepod. Moreover, the low diversity of zooplankton in KDL in summer supports that these organisms may be in adverse conditions. Furthermore, the fact that the nitrite concentration is higher in summer than in other

seasons may be another reason for the decrease in enzyme activities. NO<sub>2</sub>-N is known to be toxic to animals and humans (Kükrer and Mutlu, 2019).

**Physico-chemical properties, biomarker, and zooplankton relationships**

Relationships between determined environmental factors, and zooplankton population and copepod enzyme activities of the sample station were evaluated by using CCA. Figure 4 demonstrated the CCA ordination diagram with only the two most important ordination axes. According to correlation analysis, DO and SRP values were found to be significantly related to zooplankton species abundance ( $r= 0.944$  and  $r= 0.887$ ; respectively).



**Figure 4.** CCA triplots for zooplankton abundance and environmental variables (variables are represented by arrows. Species are depicted by points; the numbers indicate sampling stations).

This triplots diagram demonstrated variations of the structure of zooplankton population composition which can be explained by the eight environmental variables. In particular, while *Trichocerca similis* was closely affected by the amount of SPR, *L. patella*, *C. scutifer*, *K. cohlearis*, *C. sphaericus* and *Brachionus calyciflorus* were affected by the amount of DO. The EC values, SO<sub>4</sub> (r= 0.946), NH<sub>4</sub>-N (r= 0.925) and NO<sub>3</sub>-N (r= 0.890) were seen to be significantly correlated in Figure 4. *Polyarthra dolicoptera*, *Ascomorpha saltans*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Kellicottia longispina* and *Keratella quadrata* were found to be closely these variables.

Similar to the evaluations described above, it was observed that the enzyme activities were closely affected by environmental variables in the CCA triplots (Figure 4). The amount of AChE was found to be correlated with DO concentration. CAT, GST and GR enzymes, which are affected by physical-chemical changes in the ecosystem, were found to be related to temperature, pH, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, SO<sub>4</sub>, and EC amounts. In this study, the effect of water quality was determined by biochemical activity and diversity of zooplankton in the KDL. Relationships between determined environmental factors, zooplankton population and copepod enzyme activities of the sample stations were displayed by a CCA. Figure 4 showed the CCA ordination diagram with only the two first and most important ordination axes. This diagram shows the patterns of variation in the composition of the zooplankton, which can be explained by the eight environmental variables.

## CONCLUSION

This research provides insight into the implementation of biomarkers with copepod to disclose early signs of possible deterioration to the health of the KDL ecosystem. Some biochemical and physico-chemical parameters which are standard methods were measured in this study. This study indicated that AChE and GST were affected by the environmental parameters. DO and temperature caused inhibition of these biomarker activities in copepod. Consequently, despite the absence of a significant pollution problem as a result of the ecological assessment of the KDL, it is under threat due to the residential areas, agricultural lands around the KDL and decrease a in the water level in summer. Therefore to follow the changes in the

ecosystem the water features and biota in the lake should be monitored continuously. Moreover, this study is the first research to detected biomarker levels of zooplankton in KDL, which would possibly be a reference for the future investigations on the dam lake.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study is produced from the Doctoral Thesis and was financially supported by Inonu University Scientific Research Foundation under the project number of 2010-117. The authors thank this institution.

## CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The author declares that there is no conflict of interest in this study.

## RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that the research and publication ethics are complied with in the study.

## REFERENCES

- Akbulut, G. and Turhan, D.Ö. (2021). Role of salicylic acid in resistance to Everzol Navy ED in *Lemna minor* L. (Duckweed). International Journal Pure and Applied Sciences, 7(1), 185-195.
- Akther, M., Reza, M.S., Jamil, A.H.M.N. and Uddin, M.N. (2018). Assessment water quality and seasonal variations based on aquatic biodiversity of Sundarbans Mangrove Forest Bangladesh. Journal of Biotechnology and Biochemistry, 4, 6-15.
- Amira, A., Merad, I., Almeida, C.M.R., Guimaraes, L. and Soltani, N. (2018). Seasonal variation in biomarker responses of *Donax trunculus* from the Gulf of Annaba (Algeria): Implication of metal accumulation in sediments. Comptes Rendus Geoscience, 350, 173-179.
- Arab, S., Hamil, S., Rezzaz, M.A., Chaffai, A. and Arab, A. (2019). Seasonal variation of water quality and phytoplankton dynamics and diversity in the surface water of Boukourdane Lake, Algeria. Arabian Journal of Geosciences, 12, 29.
- Armengol, X., Esparcia, A. and Miracle, M.R. (1998). Rotifer vertical distribution in a strongly stratified lake: a multivariate analysis. Developments in Hydrobiology, 388, 161-170.
- Barda, I., Purina, I., Rimsa, E. and Balode, M. (2014). Seasonal dynamics of biomarkers in infaunal clam *Macoma balthica* from the Gulf of Riga (Baltic Sea). Journal of Marine System, 129, 150-156.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1083588

- Barka, S., Gdara, I., Othmen, Z.O., Mouelhi, S., Bour, M.E. and Chaffai, A.H. (2020). Seasonal ecotoxicological monitoring of freshwater zooplankton in BirMcherga dam (Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 5670–5680.
- Bouzahouane, H., Barour, C., Sleimi, N. and Ouali, K. (2018). Multi-biomarkers approach to the assessment of the southeastern Mediterranean Sea health status: Preliminary study on *Stramonita haemastoma* used as a bioindicator for metal contamination. *Chemosphere*, 207, 725-741.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Bulut, H., Sesli, A. and Tepe, R. (2021). Uzunçayır Baraj Gölü güncel zooplanktonunun bazı su kalite parametreleri ile değerlendirilmesi. *International Journal Pure and Applied Sciences*, 7(3), 429-441.
- Chainy, G.B.N., Paital, B. and Dandapat, J. (2016). An overview of seasonal changes in oxidative stress and antioxidant defense parameters in some invertebrate and vertebrate species. *Hindawi Publishing Corporation Scientifica*, 6126570, 8.
- Cribb, A.E., Leeder, J.S. and Spielberg, S.P. (1989). Use of a microplate reader in an assay of glutathione reductase using 5.5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid). *Analytical Biochemistry*, 183, 195-196.
- Datta, S.N., Chakraborty, S.K., Jaiswar, A.K. and Ziauddin, G.A. (2010). Comparative study on intertidal faunal biodiversity of selected beaches of Mumbai coast. *Journal of Environmental Biology*, 31, 981-986.
- Deepika, S., Srinivasan, A., Padmavathy, P. and Jawahar, P. (2019). Diversity of zooplankton in seagrass ecosystem of Mandapam Coast in Gulf of Mannar. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8, 2034-2042.
- Demailly, F., Elfeky, I., Malbezin, L., Guédardc, M., Eon, M., Bessoule, J.J., et al. (2019). Impact of diuron and S-metolachlor on the freshwater diatom *Gomphonema gracile*: Complementarity between fatty acid profiles and different kinds of ecotoxicological impact-endpoints. *Science of Total Environment*, 688, 960-969.
- Derevenskaia, O.J., Borisova, N.I. and Unkovskaia E.N. (2021). Zooplankton indices in the evaluation of the ecological state of the eutrophic lake (Case study: Karasikha Lake, Russia). *Caspian Journal of Environment Sciences*, 19 (4),701-708.
- Di-Marzio, W.D., Castaldo, D., Di-Lorenzo, T., Di Cioccio, A., Sáenz, M.E. and Galassi, D.M.P. (2013). Developmental endpoints of chronic exposure to suspected endocrine disrupting chemicals on benthic and hyporheic freshwater copepods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 96, 86-92.
- Djebbi, E., Bonnet, D., Pringault, O., Tlili, K. and Yahia, M.N.D. (2021). Effects of nickel oxide nanoparticles on survival, reproduction, and oxidative stress biomarkers in the marine calanoid copepod *Centropages ponticus* under short-term exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21978-21990.
- Djurhuus, A., Pitz, K., Sawaya, N.A., Rojas-Marquez, J., Michaud, B., Montes, E., Muller-Karger, F. and Breitbart, M. (2018). Evaluation of marine zooplankton community structure through environmental DNA metabarcoding. *Limnology and Oceanography: Methods*, 16, 209-221.
- Dorche, E.E., Shahraki, M.Z., Farhadian, O. and Keivany, Y. (2018). Seasonal variations of plankton structure as bioindicators in Zayandehrud Dam Lake, Iran. *Limnological Review*, 18 (4), 157-165.
- Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres, V. and Featherstone, R.M. (1961). A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, 7, 88-95.
- Gorokhova, E., Lehtiniemi, M., Postel, L., Rubene, G., Amid, C., Lesutiene, J., Uusitalo, L., Strake, S. and Demereckiene, N. (2016). Indicator properties of Baltic zooplankton for classification of environmental status within Marine Strategy Framework Directive. *Plos One*. 11(7), e0158326
- Gökçe, D. and Özhan, D. (2011). Limno-ecological properties of deep reservoir. *Karakaya HEPP. Turkey. Gazi University Journal of Science*, 24, 663-669.
- Gökçe, D. (2014). Variations of phytoplankton community structure related to water quality in a deep dam lake. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(6), 1407-1417.
- Gökçe, D. and Turhan, D.Ö. (2014). Evaluation of vertical and horizontal changes in community structure of zooplankton in a deep dam lake. *Turkish Journal of Zoology*, 38, 11-22.
- Gökçe, D., Köytepe, S. and Özcan, İ. (2018). Effects of nanoparticles on *Daphnia magna* population dynamics. *Chemistry and Ecology*, 34 (4), 301-323.
- Gökçe, D., Köytepe, S. and Özcan, İ. (2020). Assessing short-term effects of magnetite ferrite nanoparticles on *Daphnia magna*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 31489-31504.
- Guo, H., Huang, J.J., Zhu, X., Wang, B., Tian, S., Xu, W. and Mai, Y. (2021). A generalized machine learning approach for dissolved oxygen estimation at multiple spatiotemporal scales using remote sensing. *Environmental Pollution*, 288, 117734.

- Güher, H. and Öterler, B. (2021). Seasonal change of physicochemical properties of Kayalıköy Reservoir (Kıklareli/Turkey) and determination of water quality. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research* 6(2), 127-143.
- Habig, W.H., Pabst, M.J. and Jakoby, W.B. (1974). Glutathione S-transferases the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *The Journal of Biological Chemistry*, 249, 7130-7139.
- Hamil, S., Arab, S., Chaffai, A., Baha, M. and Arab, A. (2018). Assessment of surface water quality using multivariate statistical analysis techniques: a case study from Ghrib Dam, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 11,754.
- Hussain, M.B., Laabir, M. and Yahia, M.N.D. (2020). A novel index based on planktonic copepod reproductive traits as a tool for marine ecotoxicology studies. *Science of the Total Environment*, 138621.
- Jia, Y., Schmid, C., Shuliakovich, A., Hammers-Wirtz, M. and Gottschlich, A. (2019). Toxicological and ecotoxicological evaluation of the water quality in a large and eutrophic freshwater lake of China. *Science of the Total Environment*, 667, 809-820.
- Jongman, R.H.G., Braak, C.F.G. and Tongeren, O.F.R. (1995). *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 324p.
- Kadiene, E.U., Meng, P.J., Hwang, J.S. and Souissi, S. (2019). Acute and chronic toxicity of cadmium on the copepod *Pseudodiaptomus annandalei*: a life history traits approach. *Chemosphere*, 233, 396–404.
- Khadse, G.K., Meshram, D.B., Deshmukh, P. and Labhasetwar, P.K. (2019). Water quality of Tehri Dam Reservoir and contributing rivers in the Himalayan region, India. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 1951-1961.
- Khan, N.S. and Bari, J.B.A. (2019). The effects of Physico-chemical parameters on plankton distribution in poultry manure and artificial formulated feed treated fish ponds, Noakhali, Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(5), 01-07.
- Klumpen, E., Hoffschroer, N., Zeis, B., Gigengack, U., Dohmen, E. and Paul, R.J. (2017) Reactive oxygen species (ROS) and the heat stress response of *Daphnia pulex*: ROS-mediated activation of hypoxia inducible factor 1 (HIF-1) and heat shock factor 1 (HSF-1) and the clustered expression of stress genes. *Biology of The Cell*, 1, 1-50.
- Kutlu, B., Aydın, R., Danabas, D. and Serdar, O. (2020). Temporal and seasonal variations in phytoplankton community structure in Uzuncayir Dam Lake (Tunceli, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 192, 105.
- Kürker, M. 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.
- Lepš, J. and Šmilauer, P. (2003). *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press, New York. 269p.
- Liu, Z., Cai, M., Yu, P., Chen, M. & Wu D., Zhang, M. and Zhao, Y. (2018). Age-dependent survival, stress defence and AMPK in *Daphnia pulex* after short-term exposure to a polystyrene nanoplastic. *Aquatic Toxicology*, 204, 1-8.
- Luck, H. (1963). *Catalase. Methods of Enzymatic Analysis*. 885-888.
- Mason, C.F. (1983). "Biology of freshwater pollution", Longman Group Limited, England, p. 250.
- Nahrgang, J., Brooks, S.J., Evenset, A., Camus, L., Jonsson, M., Smitha, T.J., Lukina, J., Frantzen, M., Giarratano, E. and Renaud, P.E. (2013). Seasonal variation in biomarkers in blue mussel (*Mytilus edulis*), Icelandic scallop (*Chlamys islandica*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*)-Implications for environmental monitoring in the Barents Sea. *Aquatic Toxicology*, 127, 21-35.
- Özmen, M., Güngördü, A., Küçükbay, F.Z. and Güler, E. (2006). Monitoring the Effects of Water Pollution on *Cyprinus carpio* in Karakaya Dam Lake, Turkey. *Ecotoxicology*, 15, 157-169.
- Pastorino, P., Elia, A.C., Caldaroni, B., Menconi, V., Abete, M.C., Brizio, P, Bertoli, M., Zaccaroni, A., Gabriele, M., Dörr, A.J.M., Pizzul, E. and Prearo, M. (2020). Oxidative stress ecology in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) from a highmountain lake (Cottian Alps). *Science of the Total Environment*, 715, 136946.
- Park, J.C., Hagiwara, A., Park, H.G. and Lee, J.S. (2020). The glutathione S-transferase genes in marine rotifers and copepods: Identification of GSTs and applications for ecotoxicological studies. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111080.
- Rodríguez, L.P., Caliani, I., Brugnano, C., Granata, A., Guglielmo, R., Guglielmo, L., Zagami, G. and Minutoli, R. (2018). Biomarkers employment in planktonic copepods for early management and conservation of aquatic ecosystems: The case of the 'Capo Peloro' Lakes (Southern Italy). *Regional Studies in Marine Science*, 18, 161-169.
- Shannon, C.E. and Weaver, W. (1963). *The mathematical theory of community*. University of Illinois Press, Urbana (in USA).
- Santos, C.C.M., Ferreira, J.A., Santos, C.R.M. and Amado, L.L. (2021). Seasonal modulation of oxidative stress biomarkers in mangrove oyster (*Crassostrea gasar*) from an Amazon estuary.




Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1083588

- Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology A, 257, 110953.
- Sarker, S., Al-Noman, M., Basak, S.C. and Islam, M.M. (2018). Do biotic interactions explain zooplankton diversity differences in the Meghna River estuary ecosystems of Bangladesh? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 212, 146-152.
- Souza, J.P., Mansano, A.S., Venturini, F.P., Santos, F. and Zucolotto, V. (2019). Antioxidant metabolism of zebrafish after sub-lethal exposure to graphene oxide and recovery. *Fish Physiol Biochemistry*, 45, 1289-1297.
- Tiwari, R.K., Singh, S. and Pandey, R.S. (2019). Assessment of the acute toxicity of chlorpyrifos and cypermethrin to *Heteropneustes fossilis* and their impact on acetylcholinesterase activity. *Drug and Chemical Toxicology*, 5, 463-470.
- Uçkun, A.A. and Gökçe, D. (2015). Growth and reproduction of *Cyprinion macrostomus* (Heckel, 1843) and *Cyprinion kais* (Heckel, 1843) populations in Karakaya Dam Lake (Euphrates River). Turkey. *Turkish Journal Zoology* 39, 685-692.
- Uluturhan, E., Darılmaz, E., Kontas, A., Bilgin, M., Alyuruk, H., Altay, O. and Sevgi, S. (2019). Seasonal variations of multi-biomarker responses to metals and pesticides pollution in *M. galloprovincialis* and *T. decussatus* from Homa Lagoon Eastern Aegean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 176-186.
- Ural, M., Arca, S., Örnekçi, G.N., Demirof, F., Yüce, S., Uysal, K., Çiçek, A., Köse, E. and Koçer, M.A.T. (2012). Metal accumulation in sediment, water, and freshwater fish in a Dam Lake. *Toxicological Environmental Chemistry*, 94 (1), 49-55.
- Ustaoglu, M.R. (2004). A checklist for zooplankton of Turkish inland waters. *Ege University Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 21, 191-199.
- Varol, M. and Sünbül, M.R. (2019). Environmental contaminants in fish species from a large dam reservoir and their potential risks to human health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 507-515.
- Varol, M. (2020). Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large reservoir in Turkey. *Environmental Pollution*, 259, 113860.
- Vrankovic, J., Zivic, M., Radojevic, A., Peric-Mataruga, P., Todorovic, D., Markovic, Z. and Zivic, I. (2018). Evaluation of oxidative stress biomarkers in the freshwater gammarid *Gammarus dulensis* exposed to trout farm outputs. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 85-95.
- Yamamuro, M., Komuro, T., Kamiya, H., Kato, T., Hasegawa, H. and Kameda, Y. (2019). Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields. *Science*, 366, 620-623.

## Doğal Gaz Tüketiminin Elektrik Tüketimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Muş İli Örneği

Halil Gör

Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Hakkari, Türkiye

halilgor@hakkari.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 12.03.2022, Makale kabul tarihi: 11.05.2022

### Öz

Türkiye’de doğal gaz 81 il merkezi ve birçok ilçe merkezinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konutlarda doğal gaz kullanımının diğer yakıtlara göre ekonomik, kolay ve temiz olduğu bilinmektedir. Konut ısıtması, sıcak su temini ve pişirme gibi işlerin elektrikle yapılması, elektrik arzında ilave tedbirlere, aşırı yüklenmelere ve arızalara sebep olmaktadır. Doğal gazın kullanılması bu olumsuzlukları azaltabilmektedir. Bu çalışmada, 2016 yılında Muş ilinde doğal gazın kullanılmaya başlanmasıyla birlikte doğal gaz tüketiminin elektrik tüketimi üzerinde bir etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla, Türkiye’nin elektrik ve doğal gaz durumu değerlendirildikten sonra Muş ilinin genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. 2016-2020 yıllarında doğal gaz kullanımı Muş il merkezi ile sınırlı olduğundan, çalışmanın kapsamı Muş il merkezine indirgenerek tüketim değerleri irdelenmiştir. İlgili kurumların kayıtları incelenerek Muş ilinde doğal gaz tüketiminin elektrik tüketimi üzerindeki etkisine yönelik tespitler ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal gaz tüketimi, elektrik tüketimi, kaçak elektrik kullanımı, Muş

## Investigation of the Effect of Natural Gas Consumption on Electricity Consumption: The Case of Muş Province

### Abstract

Natural gas is widely used in 81 provincial centers and many district centers in Turkey. It is known that the use of natural gas in houses is economical, easy and clean compared to other fuels. Performing works such as residential heating, hot water supply and cooking with electricity causes additional measures, overloads and faults in the electricity supply. The use of natural gas can reduce such negativities. In this study, it has been investigated whether natural gas consumption has an effect on electricity consumption with the use of natural gas in Muş province in 2016. For this purpose, after a brief evaluation of Turkey's electricity and natural gas situation, a general evaluation of Muş province was made. Since the use of natural gas in 2016-2020 was limited to Muş city center, the scope of the study was reduced to Muş city center and consumption values were examined. By examining the data of the relevant institutions, the effects of natural gas consumption on electricity consumption in Muş province were determined.

**Keywords:** Natural gas consumption, electricity consumption, illegal electricity usage, Muş

### GİRİŞ

Sanayinin, teknolojinin ve hayat standartlarının hızla gelişmesiyle enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Gün geçtikçe sanayide, ulaşımda, iş yerlerinde, meskenlerde, kısacası her alanda daha fazla makine, araç ve gereç kullanılmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak dünyada ve ülkemizde enerji tüketimi gün geçtikçe hızlı bir şekilde artmaktadır (Özdemir ve ark., 2020; Tekin ve ark., 2017). Enerji tüketiminin hızla artması da ileriye yönelik sağlam bir arz-talep dengesinin oluşturulmasını zorunlu

kılmaktadır. Sağlıklı bir arz-talep dengesi oluşturmanın en önemli noktalarından biri enerji tüketim verilerinin doğru, detaylı ve sistematik olarak değerlendirilmesidir. Bu sebeple enerji tüketiminin makro ölçekte analiz edilmesi yeterli olamayacağından konunun mikro ölçekte, daha doğru bir ifadeyle yerel ölçekte de detaylı olarak irdelenmesi gerekmektedir. Enerji projeksiyonlarının başarılı olması ancak bu şekilde mümkün olabilecektir.

Doğal gaz ülkemizde en fazla kullanılan birincil enerji kaynaklarından biridir. En fazla ve en yaygın olarak tüketilen enerji türü ise elektrik enerjisidir. Doğal gaz aynı zamanda elektrik enerjisi üretiminde de kullanılan önemli bir kaynaktır. Türkiye tüketmiş olduğu doğal gazın büyük bir kısmını ithal etmekte olup bunun yarısını da elektrik üretmek için kullanmaktadır (Ataşı ve Güler, 2020). Birincil enerji tüketimi içerisindeki payı en hızlı artan enerji kaynağı doğal gaz olup gelecek yıllarda ülkemizin en önemli kaynaklarından birinin de yine doğal gaz olabileceği düşünülmektedir (Bülbül, 2010; Satman, 2011; Tatlı ve Lebe, 2017). Son zamanlarda Karadeniz’de keşfedilen doğal gaz rezervi Türkiye için çok önemli bir kazanımdır. Özellikle elektrik ve doğal gaz tüketiminde süreklilik arz eden artışlar dikkate değerdir (Tatlı ve Koç, 2018). Nüfusun, gelirin ve hayat standartlarının artmasına paralel olarak elektrikle çalışan makine, araç ve gereçlerin kullanımının artması, dünyanın hızla dijital bir dünyaya doğru evrilmesi, elektrik tüketiminin de artmasının ana sebeplerindendir (İsmiç, 2015). Elektrik tüketiminin büyümeye olan etkisi, takip edilecek enerji politikaları bakımından önemli bir husustur (Başar ve ark., 2020). Tüm bunlar göz önüne alındığında, elektrik enerjisinin öneminin insan hayatında artık vazgeçilmez bir düzeye geldiği söylenebilir.

Ülkemizin doğal gaz ve elektrik tüketimini farklı açılardan konu alan birçok çalışma vardır. Türkiye elektrik tüketimini günlük olarak tahmin eden (Haliloğlu ve Tutu, 2018), benzer şekilde, Yozgat ili için mesken ve sanayinin aylık doğal gaz tüketiminin uzun tahmini için bir model (Ay, 2018), Karabük ilinin enerji arz-talep dengesini ortaya koyan ve genel eğilimi değerlendirecek bir enerji akış şeması oluşturulmuştur (Şevik, 2017). Mersin’in 2023 yılına kadar elektrik tüketimini etkileyen faktörlere de başka bir çalışmada yer verilmiştir (Tekin ve ark., 2017).

Diğer bir çalışma ise 2017-2027 yılları arasındaki Türkiye elektrik enerjisi üretimi ve tüketiminin tahminine yöneliktir (Şahin, 2018). Benzer şekilde, “Türkiye’de doğal gaz tüketimi, istihdam ve sabit sermaye oluşumlarının ekonomik

büyümeyle olan ilişkisi” incelenmiştir (Tatlı ve Lebe, 2017). Başka çalışmalarda ise “Türkiye’de sektörel elektrik tüketimi - büyüme ilişkisi 1990-2018 dönemi kapsamında incelenmesi” (Başar ve ark., 2020). “Türkiye için hane halkı elektrik tüketimini etkileyen faktörlerin neler olduğu ve bu faktörlerin elektrik tüketimini ne yönde etkilediği” (Çalmaşur ve İnan, 2018) ve “sektörel elektrik tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki nedensellik ilişkilerinin incelenmesi” (Tayyar, 2019) konu edilmiştir. Ayrıca, “illerin elektrik tüketiminin etkinlik değerleri ile etkin olmayan illerin etkin olması için yapılması gereken potansiyel iyileştirmelerin tespiti” konulu bir çalışmaya da rastlanmıştır (Koçak ve Boran, 2019).

Bu çalışmada, Muş ilinde 2016 yılında doğal gazın yaygın olarak kullanımına başlanmasıyla beraber doğal gaz tüketiminin seyri ve doğal gaz kullanımının elektrik tüketimine bir etkisinin olup olmadığının incelenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, ilk defa 2016 yılında doğal gaz kullanımına başlayan Muş ilinde doğal gaz tüketiminin elektrik tüketimine bir etkisinin olup olmadığının tespitine çalışılmıştır. Çalışmada öncelikle Türkiye geneli elektrik ve doğal gazın genel durumu ele alınmış, akabinde Muş’un doğal gaz kullanımına başlama tarihinin birkaç yıl öncesinden başlanarak 2020 yılı sonuna kadar olan zaman aralığı için Muş il genelinin elektrik ve doğal gaz durumu incelenmiştir. Buna ilave olarak, doğal gaz kullanımı henüz Muş il merkeziyle sınırlı olduğundan, doğal gaz kullanımının elektrik kullanımına olan etkilerinin daha net olarak incelenebilmesi amacıyla Muş’un ilçeleri kapsam dışı tutularak ta elektrik ve doğal gaz tüketimi incelenip analiz edilmeye çalışılmıştır. Elektrikle ilgili veriler Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) ve Muş ilinin elektrik dağıtım sorumlusu olan Vangölü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi’nin (VEDAŞ) resmi kayıtlarından, doğal gaz ile ilgili veriler de Muş’un doğal gaz dağıtım sorumlusu olan DOĞUGAZ Anonim Şirketi’nin (DOĞUGAZ) ve yine EPDK’nın resmi kayıtlarından elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye'nin faturalanan elektrik tüketiminin sektör bazında yıllar itibariyle gelişimi (MWh) (EPDK, 2016, 2017a-2021a)

Tüketici Türü	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sanayi	79 044 855	89 922 524	94 965 626	96 995 771	94 462 699	99 767 341
Ticarethane	57 306 435	60 834 907	53 531 711	54 769 980	56 389 775	60 133 988
Mesken	47 897 232	51 085 627	66 454 453	68 289 254	65 150 389	57 633 482
Tarımsal Sulama	4 869 146	6 267 491	6 537 065	8 799 145	8 553 367	10 805 968
Aydınlatma	4 309 475	4 218 215	4 341 373	4 755 803	5 041 683	5 095 836
<b>Genel Toplam</b>	<b>193 427 143</b>	<b>212 328 764</b>	<b>225 830 228</b>	<b>233 609 953</b>	<b>229 597 913</b>	<b>233 436 615</b>

## TÜRKİYE'DE ELEKTRİĞİN DURUMU

Dünyada 19. yüzyılda kullanılmaya başlanan elektrik enerjisi Türkiye'de 20. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanmış olup elektriğe olan talep hızlı ve devamlı bir şekilde artmıştır (Çalmaşur ve İnan, 2018; Duman ve ark., 2021). Artan talebi karşılamak için kurulu elektrik gücünü arttırmaya yönelik adımlar atılarak 2020 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin toplam kurulu gücünün 95891 MW olması sağlanmıştır (EPDK, 2021a).

2016-2020 yılları için Türkiye'nin elektrik durumunun gelişimine bakıldığında; 2016 yılında 77563.4 MW olan lisanslı kurulu güç %14.8 civarında artarak 2020 yılı sonunda 89067.1 MW olmuştur. Devlet tarafından bir takım teşviklerin uygulanmasıyla lisansız kurulu güç yaklaşık 6.5 kat artarak 6823.5 MW değerine ulaşmıştır. Buna paralel olarak lisansız üretim de 10 kat artarak 11245.5 GWh olarak gerçekleşmiştir. Lisansız kurulu gücün ve üretimin artışındaki en önemli sebep ise uygulanan bun teşvikler sonucunda kurulan güneş santralleridir. 2016 yılında yaklaşık 78611 MW olan toplam kurulu güç %21.98 oranında artarak 2020 yılı sonu itibariyle 95891 MW, buna paralel olarak ta 273.7 TWh olan toplam üretim de %11.55 civarında artarak 305.33 TWh olmuştur.

2016 yılında 40.9 milyon civarında olan elektrik tüketici sayısı yaklaşık %12.6 oranında artarak 2020 yılı sonunda 46 milyona ulaşmıştır. Tüketicinin elektrik sayacı üzerinden tespit edilip faturalandırılan elektrik tüketim miktarına “faturalanan elektrik tüketimi” denir. Tablo 1'de Türkiye'nin faturalanan elektrik tüketiminin sektörel bazda yıllar itibariyle gelişimi gösterilmiştir. Buna göre; 2020 yılında en fazla tüketim %42.74 ile sanayi sektöründe gerçekleşmiştir. Sanayi sektörünü %25.76 ile

ticarethane ve %24.69 ile mesken tüketimi takip etmiştir. 2015 yılından 2020 yılına kadar, 2019 yılı hariç, toplam tüketim sürekli olarak artmıştır. 2019 yılında ise toplam tüketim bir önceki yıla göre yaklaşık %1.72 oranında azalmıştır.

Kayıp-kaçak elektrik miktarı ve faturalandırılmış elektrik miktarının toplamı, “fiili elektrik tüketimi” olarak ifade edilmektedir. 2016 yılında 277.52 TWh olan fiili tüketim yaklaşık %9.68'lik artışla 2020 yılı sonunda 304.39 TWh olarak gerçekleşmiştir.

## TÜRKİYE'DE DOĞAL GAZIN DURUMU

Ülkemizde doğal gaz kullanımına 1987 yılında, Muş ilinde ise 2016 yılında başlanmıştır. 2020 yılı sonu itibariyle il merkezlerinin tamamında, 554 ilçe ve 35 beldede doğal gaz kullanılabilenekte olup gerek ülkemizde gerekse Muş ilinde doğal gaz kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. 2020 yılında Türkiye'de üretim yapan toptan satış lisansı sahibi 9 şirket bulunmakta ve bu şirketler tarafından İstanbul, Tekirdağ, Kırklareli, Çanakkale, Düzce, Edirne ve Adıyaman'da toplam 441.27 milyon Sm<sup>3</sup> doğal gaz satışa sunulmuştur. Ülkemizde üretilen doğal gaz miktarı arzın sadece %0.91'ine tekabül ettiğinden %99.09'luk kısım ise zorunlu olarak ithal edilmektedir. Bu sebeple 2020'de toplam 48.13 milyar Sm<sup>3</sup> civarında doğal gaz ithal edilmiştir. Doğal gaz ithalatının en fazla yapıldığı ülke Rusya olup bunu sırasıyla Azerbaycan, Cezayir, İran ve Nijerya takip etmektedir. Ülkemizde 2020 yılında, toplam doğal gaz abone sayısı yaklaşık 17 milyona ulaşmıştır.

Türkiye'nin yıllar itibariyle doğal gaz durumuna bakıldığında; 2016 yılında 46.35 milyar Sm<sup>3</sup> olan doğal gaz ithalatı önemli miktarda artarak 2017

yılında 55.25 milyar  $\text{Sm}^3$  olmuştur. 2018 yılından itibaren düşmeye başlayan doğal gaz ithalatı 2019 yılında 45.21 milyar  $\text{Sm}^3$  civarına inmiş, 2020 yılında ise bir önceki yıla göre %6.45 civarında artarak 48.13 milyar  $\text{Sm}^3$  olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizdeki doğal gaz üretim miktarı 2016 yılında 367.2 milyon  $\text{Sm}^3$  iken 2020 yılında 441.3 milyon  $\text{Sm}^3$  olmuştur. Bu rakamlara göre üretimin tüketimi karşılamakta çok yetersiz kaldığı net olarak görülmektedir. Mevcut durum dikkate alındığında, son zamanlarda Karadeniz’de keşfedilen ve önümüzdeki yıllarda kullanıma sunulacağı ifade edilen doğal gaz rezervinin ülkemizin doğal gaz talebini karşılaması için önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Tablo 2’de Türkiye’nin sektör bazlı doğal gaz tüketiminin yıllara göre gelişimi verilmiştir (EPDK, 2017b-2021b). 2017 yılında bir önceki yıla göre tüketim %15.87 ve 2020 yılında ise tüketim bir önceki yıla göre %6.57 oranında artmıştır. 2018 yılında bir önceki yıla göre tüketim %8.64 ve 2019 yılında ise tüketim bir önceki yıla göre %7.96 oranında azalmıştır. 2018 yılına kadar doğal gaz tüketiminin en fazla olduğu sektör elektrik üretimi amaçlı dönüşüm/çevrim sektörü olmuşken 2019 ve 2020 yıllarında ise tüketim en fazla konut sektöründe gerçekleşmiştir.

Türkiye’nin 2020 yılı doğal gaz tüketiminin sektör bazlı oransal dağılımı dikkate alındığında; en fazla tüketim %32.35 ile konut sektöründe gerçekleşmiş ve bunu %28.27 ile dönüşüm/çevrim sektörü takip etmiştir. Aynı yıl sanayi sektörü %26.31

ve hizmet sektörü tüketimi de %8.89 olarak gerçekleşmiştir.

Ülkemizin 2020 yılı aylık doğal gaz tüketim değerlerine göre; 6.54 milyar  $\text{Sm}^3$  tüketimin yapıldığı Ocak ayı tüketimin en fazla gerçekleştiği ay olmuştur. 2.25 milyar  $\text{Sm}^3$  tüketimin yapıldığı Haziran ayı ise tüketimin en düşük olduğu aydır.

## MUŞ İLİNDE ELEKTRİK ve DOĞAL GAZ TÜKETİMİ

Muş ili Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içinde yüz ölçümü 8196  $\text{km}^2$ , 5 ilçe, 17 belde, 367 köy ve 405228 kişilik nüfusa sahip olan bir ilimizdir (Muş Valiliği, 2022). Muş’ta hakim olan sert karasal iklim ve coğrafik durum nedeniyle kış koşulları 6-7 ay sürmektedir. Bu durum elektrik ve doğal gaz tüketiminde çok önemli bir etkidir.

Muş ilinin tamamında elektrik şebekesi tesis edilmiş ve abonelerin hizmetine sunulmuştur. 2020 yılı sonu itibarıyla Muş’un lisanslı elektrik kurulu gücü 211.81 MW olup Türkiye geneli lisanslı kurulu gücün %0.24’ne denk gelmektedir. Lisansız kurulu gücü ise 3.99 MW olup ülke genelinin %0.06’sına tekabül etmektedir. Muş’un 2020 yılsonu lisanslı elektrik üretimi 525.27 GWh olup ülkenin lisanslı toplam üretiminin %0.18’ine, Muş’un lisansız üretimi ise 5689.4 MWh olup ülkenin lisansız toplam üretiminin %0.05’ine denk gelmektedir (EPDK, 2021a).

**Tablo 2.** Türkiye’nin sektör bazlı doğal gaz tüketimi (milyon  $\text{Sm}^3$ )

Sektör	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Dönüşüm/Çevrim Sektörü</b>	19 010.67	16 736.28	20 536.52	18 191.64	11 258.00	13 645.29
<b>Enerji Sektörü</b>	302.34	1 756.54	2 056.51	1 735.04	1 986.82	1 641.41
<b>Ulaşım Sektörü</b>	423.11	456.05	529.42	430.50	411.06	257.89
<b>Sanayi Sektörü</b>	13 965.53	12 600.34	13 372.13	11 993.23	12 424.04	12 697.67
<b>Hizmet Sektörü</b>	3 160.64	3 123.33	3 725.76	3 995.64	4 606.06	4 288.43
<b>Konut</b>	11 000.36	11 701.25	13 514.94	12 625.17	14 396.42	15 613.23
<b>Diğer Sektörler</b>	136.63	106.99	121.86	232.93	203.10	117.43
<b>Genel Toplam</b>	<b>47 999.28</b>	<b>46 480.78</b>	<b>53 857.14</b>	<b>49 204.15</b>	<b>45 285.50</b>	<b>48 261.35</b>

**Tablo 3.** Muş merkezinin yıllar itibariyle elektrik ve doğal gaz abone sayıları

Yıl	Elektrik Abone Sayısı	Doğal Gaz Abone Sayısı
2015	47 377	0
2016	49 371	789
2017	53 099	8 783
2018	57 294	17 445
2019	59 033	24 221
2020	61 940	26 539

Muş il genelinin 2020 yılsonu itibariyle elektrik abone sayısı toplam 140581 olup 2015 yılından itibaren her yıl ortalama %4 civarında bir artış gerçekleşmiştir. Muş il genelinde en fazla elektrik abonesi mesken (konut) grubunda olup bunu ticarethane abonesi takip etmektedir. 2020 yılında mesken abone sayısı 113390, ticarethane abone sayısı 24172 ve sanayi abone sayısı ise 88'dir.

Muş'ta doğal gaz şebekesinin yapımına 2015 yılında başlanmış olup kullanımına ise ilk defa 2016 yılında il merkezinin sadece küçük bir kısmında başlanmıştır. 2020 yılı sonuna gelindiğinde ise Muş il merkezinin büyük bir kısmına doğal gaz şebekesi tesis edilerek abonelerin doğal gaz kullanması sağlanmıştır. Ancak, özellikle konutlar için doğal gaz tesisatının kurulması, kombi temini ve abonelik gibi masraflar nedeniyle il merkezinde bulunan bazı konutlarda halen doğal gaz kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Muş'un ilçeleri ve kırsal kesimde ise doğal gaz şebekesi olmadığından kullanımına henüz başlanılmamıştır.

Tablo 3'te Muş merkezinin yıllar itibariyle elektrik ve doğal gaz abone sayıları verilmiştir. Buna göre Muş merkezinde 2016 yılında 49371 elektrik abonesine karşın 789 doğal gaz abonesi bulunmaktayken 2020 yılı sonunda 61940 elektrik abonesine karşın 26539 doğal gaz abonesi bulunmaktadır.

EPDK'nın 2015-2020 yıllarına ait verilerine göre ülkemizdeki yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık %0.17'si Muş ilinde gerçekleşmiştir. Yine aynı verilere göre Muş'ta elektrik tüketimi en fazla mesken aboneleri tarafından yapılmakta olup bunu ticarethanelerin tüketimi takip etmektedir.

Tablo 4'te ilçeler hariç tutularak Muş Merkezine ait fatura edilen elektrik enerjisinin aylık ve yıllık bazda gelişimi gösterilmiştir. Buna göre; Muş Merkezinde genellikle elektrik tüketiminin en fazla kış aylarında gerçekleştiği görülmektedir.

**Tablo 4.** Muş Merkezinde tüketilen elektrik enerjisinin ay ve yıl bazında gelişimi (kWh)

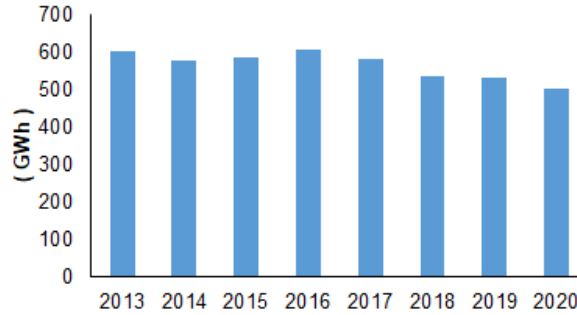
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Ocak</b>	17 456 663	16 424 352	16 848 285	15 449 540	16 656 008	17 010 976
<b>Şubat</b>	15 355 847	14 778 631	14 127 701	14 181 951	16 289 480	16 105 402
<b>Mart</b>	13 721 307	15 415 466	16 510 303	14 492 496	13 827 290	15 419 314
<b>Nisan</b>	12 303 219	13 810 466	14 536 419	14 367 243	13 381 881	14 382 468
<b>Mayıs</b>	13 369 425	14 418 263	14 728 690	15 828 912	13 819 994	13 357 303
<b>Haziran</b>	11 287 337	13 332 432	13 757 440	14 556 350	14 248 236	15 370 235
<b>Temmuz</b>	13 413 762	11 986 707	15 460 362	15 565 955	15 576 718	15 141 478
<b>Ağustos</b>	13 378 236	13 855 231	14 202 425	13 871 705	15 097 273	15 756 023
<b>Eylül</b>	13 369 298	14 550 493	13 580 698	15 892 182	14 830 671	15 819 011
<b>Ekim</b>	12 014 774	15 046 666	14 304 282	14 448 661	14 359 969	16 692 978
<b>Kasım</b>	14 708 540	15 333 864	16 491 742	16 654 020	16 603 368	13 994 456
<b>Aralık</b>	14 007 113	12 563 583	17 764 518	16 250 816	15 627 476	16 323 697
<b>Toplam</b>	<b>164 385 521</b>	<b>171 516 154</b>	<b>182 312 865</b>	<b>181 559 831</b>	<b>180 318 363</b>	<b>185 373 340</b>

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1086618

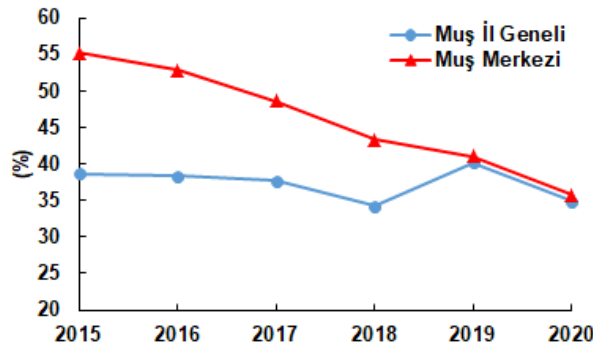
Şekil 1 (a)'da yıllar itibariyle Muş il genelinde tüketilen elektrik enerjisi miktarının değişimi gösterilmiştir. 2013 yılından 2020 yılına kadar tüketilen elektrik enerjisi miktarına bakıldığında, en yüksek miktarın 2016 yılına ait olduğu görülmektedir. Muş'ta doğal gazın kullanıma başlandığı 2016 yılında Muş il genelinde tüketilen yıllık elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 606 GWh iken bu miktar her yıl azalarak 2017'de 582 GWh, 2018'de 535 GWh, 2019'da 530 GWh ve 2020 yılı sonunda ise 502 GWh olmuştur. 2020 yılı sonu itibariyle 2016 yılına göre toplamda %17.2 civarında bir azalma gerçekleşmiştir.

Şekil 1 (b)'de Muş il geneli ve Muş merkezi için kayıp kaçak elektrik oranının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Buna göre 2015 yılında Muş il genelinde %55.17 olan kayıp kaçak elektrik oranı her yıl azalarak 2020 yılı sonunda %35.77 olarak gerçekleşmiştir. Muş merkezinde ise 2015 yılında %38.71 olan kayıp kaçak oranı 2020 yılında %34.86 olarak gerçekleşmiştir. Doğal gazın kullanıldığı Muş merkezinde 2016-2020 yıllarında gerçekleşen kayıp kaçak elektrik oranının Muş il geneline göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Muş'ta 2016 yılında doğal gaz kullanımı daha yeni başladığından ve doğal gaz abone sayısı da az olduğundan toplamda sadece 0.61 milyon  $\text{Sm}^3$  civarında bir tüketim olmuştur. Muş merkezde doğal gaz şebekesinin giderek yaygınlaşması ve abone sayısının da artmasıyla beraber doğal gaz tüketimi de artmıştır. 2017 yılında 18.05, 2018'de 29.93, 2019'da 43.24 ve 2020 yılında ise yaklaşık 49.19 milyon  $\text{Sm}^3$  civarında bir tüketim gerçekleşmiştir (EPDK, 2017b-2021b). Muş'ta çok sert bir karasal iklim hakim olduğundan doğal gazın konut ısıtmasında kullanılması odun, kömür ve diğer yakıtlara göre önemli bir kolaylık ve avantaj sağlamıştır. Bu sebeple tüketim en fazla konut aboneleri tarafından yapılmıştır. Konut aboneleri 2017 yılında 1.66, 2018'de 11.92, 2019'da 26.97 ve 2020 yılında ise toplam 30.55 milyon  $\text{Sm}^3$  civarında doğal gaz tüketmiştir. 2020 yılında sanayi sektörü 6.39 ve hizmet sektörü de 9.66 milyon  $\text{Sm}^3$  civarında doğal gaz tüketmiştir. Muş'ta doğal gaz kullanımının hava kirliliğini de eskiye göre önemli derecede azalttığı söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 1. (a) Muş il geneli fiili tüketilen elektrik enerjisinin, (b) Muş il geneli ve Muş merkez kayıp kaçak elektrik oranlarının yıllara göre değişimi

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1086618

Tablo 5'te Muş'un aylık doğal gaz tüketiminin yıllar itibariyle gelişimi verilmiştir. Muş'ta 2016 yılı Temmuz ayından itibaren doğal gaz tüketimi faturalanmaya başlanmış ve abone sayısı henüz az olduğundan aylık tüketim de oldukça düşük kalmıştır. 2017 yılında abone sayısı artmaya başladığı için hem aylık hem de yıllık tüketim de artmıştır. 2016-2020 yıllarında en fazla tüketim Aralık aylarında gerçekleşmiştir.

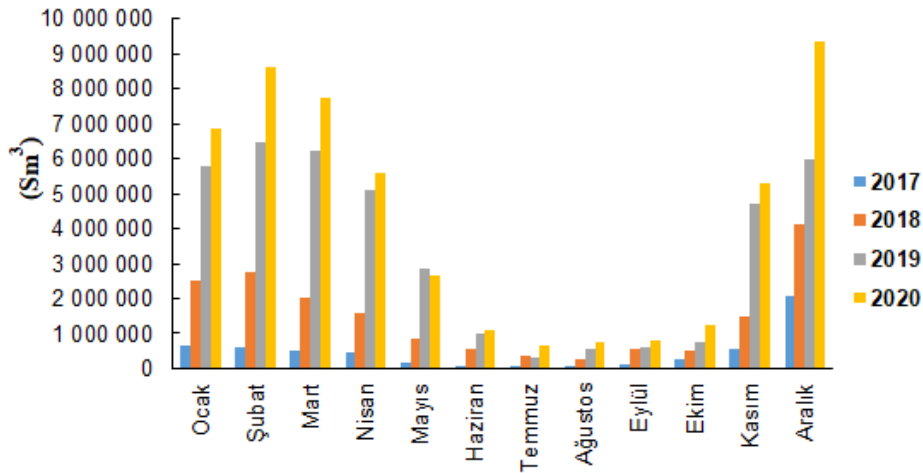
Şekil 2'te 2017-2020 yılları için Muş'un aylık doğal gaz tüketiminin değişimi gösterilmiştir. Muş'ta yaşanan soğuk iklim nedeniyle genellikle Ekim ayından itibaren konut ısıtması amacıyla doğal gaz tüketimi başlamakta olup takip eden aylarda tüketim

çok hızlı bir şekilde artar. Nisan ayının sonuna kadar kış koşulları yaşandığından en az altı ay boyunca yüksek miktarda doğal gaz tüketimi olmaktadır. Konut ısıtmasının Muş'ta doğal gaz tüketiminde en büyük paya sahip olma sebebinin bu olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmaya konu olan 2016-2020 yılları arasında, Türkiye'de yıllık tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %0.17'lik kısmının Muş'ta tüketildiği, yine aynı şekilde, yıllık tüketilen doğal gaz miktarının da yaklaşık %0.03-%0.1'nin de Muş'ta tüketildiği tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** Muş'un aylık doğal gaz tüketiminin yıllar itibariyle gelişimi ( $Sm^3$ )

	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Ocak</b>		633 810	2 497 004	5 761 816	6 844 759
<b>Şubat</b>		609 701	2 735 495	6 449 946	8 609 561
<b>Mart</b>		498 156	2 037 313	6 230 052	7 728 572
<b>Nisan</b>		448 633	1 585 226	5 122 115	5 569 242
<b>Mayıs</b>		170 140	827 575	2 877 470	2 643 407
<b>Haziran</b>		74 257	540 785	989 725	1 099 476
<b>Temmuz</b>	705	57 888	362 797	300 679	641 735
<b>Ağustos</b>		30 130	278 466	555 870	740 457
<b>Eylül</b>	2 730	101 165	543 882	624 402	805 420
<b>Ekim</b>	8 367	247 249	486 737	735 269	1 237 178
<b>Kasım</b>	37 301	570 672	1 498 397	4 730 133	5 272 494
<b>Aralık</b>	286 163	2 068 947	4 119 912	5 994 642	9 334 366



**Şekil 2.** 2017-2020 yılları için Muş'un aylık doğal gaz tüketimi



**Tablo 6.** Muş merkez elektrik ve doğal gaz durumunun karşılaştırılması

Yıl	Elektrik Abone Sayısı	Önceki Yıla Göre Değişim (%)	Faturalanan Elektrik Tüketimi (kWh)	Önceki Yıla Göre Değişim (%)	Doğal Gaz Abone Sayısı	Doğal Gaz Tüketimi (Sm <sup>3</sup> )	Önceki Yıla Göre Değişim (%)
2016	49 371	4.21	171 516 154	4.34	789	614 469	
2017	53 099	7.55	182 312 865	6.29	8 783	18 056 717	2 838.59
2018	57 294	7.90	181 559 831	-0.41	17 445	29 928 756	65.75
2019	59 033	3.04	180 318 363	-0.68	24 221	43 242 194	44.48
2020	61 940	4.92	185 373 340	2.80	26 539	49 184 748	13.74

Tablo 6’da 2016-2020 yılları için Muş Merkezin elektrik ve doğal gaz durumu karşılaştırılmıştır. Buna göre; doğal gazın yeni yeni yaygınlaşmaya başladığı, doğal gaz abone sayısı ve tüketiminin nispeten henüz az miktarda olduğu 2016 ve 2017 yıllarında Muş merkezde yıllık elektrik tüketiminin bir önceki yıla göre arttığı tespit edilmiştir. Ancak doğal gaz abone sayısının ve doğal gaz tüketiminin artarak belli bir seviyeye ulaştığı 2018 ve 2019 yıllarında ise durum bunun tersidir. Yani, Muş merkezde elektrik abone sayısı 2018 yılında %7.9 ve 2019 yılında %3.04 artmış olmasına rağmen elektrik tüketiminde bir önceki yıla göre artış yerine azalma olmuştur. Elektrik tüketiminin azalmış olduğu 2018’de doğal gaz abone sayısı ise 17445’e ve 2019’da 24221’e yükselmiştir. Önemli miktarda artan abone sayısına bağlı olarak doğal gaz tüketimi 2018’de %65.75 ve 2019 yılında %44.48 oranında artmıştır. Doğal gaz kullanımda değilken aboneler ısınma, pişirme ve sıcak su temininin bir kısmını elektrikle karşılamaktaydılar. Doğal gazın kullanıma başlanmasıyla bu ihtiyaçların büyük bir kısmının doğal gazla karşılanmaya başladığını bu verilere dayanarak söylemek mümkündür. Dolayısıyla, Muş merkezde doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ve doğal gaz tüketiminin artmasıyla beraber elektrik tüketiminin azalmış olduğu sonucuna varılmıştır.

2020 yılında doğal gaz şebekesi Muş merkezin büyük bir kısmına ulaştığından, doğal gaz abone sayısının ve doğal gaz tüketim miktarının bu aşamadan sonra artık normal bir düzeye oturmuştur. Buna bağlı olarak doğal gaz tüketiminin elektrik tüketimi üzerindeki etkisinin artık normal bir düzeyde kaldığı söylenebilir. Şayet doğal gaz olmasaydı özellikle konut ısıtması, mutfak işleri ve sıcak su temini gibi amaçlarla kısmen de olsa elektrik kullanımı tercih edileceği için, 2016-2020 yıllarında elektrik tüketimindeki artış sürekli olurdu.

#### DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Muş ilinde doğal gaz kullanımının elektrik tüketimi üzerinde bir etkisinin olup olmadığı incelenmiştir.

Daha önce de ifade edildiği gibi 2020 yılı sonu itibarıyla sadece Muş il merkezindeki mahallelerde doğal gaz kullanılabilirdiğinden, Muş’un tamamı dikkate alındığında potansiyel tüketicilerin az bir kısmına doğal gazın ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, Muş merkezdeki doğal gaz tüketimi Muş’un tamamının elektrik tüketimi üzerindeki etkisini sınırlandırmaktadır.

Doğal gaz kullanımının yeni başladığı ve tüketiminin az olduğu yıllarda Muş merkez ve Muş il geneli yıllık elektrik tüketimindeki artışın fazla olduğu tespit edilmiştir.

Muş il geneli elektrik tüketimine bakıldığında ise 2015 yılından 2020 yılı sonuna kadar, tüketimin her yıl kesintisiz olarak arttığı, doğal gazın nispeten daha fazla yaygınlaştığı, doğal gaz tüketiminin daha yüksek olduğu 2018 ve 2019 yıllarında ise elektrik tüketimindeki artış miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, aynı koşullarda 2018 ve 2019 yıllarında doğal gaz ve elektriğin beraber tüketildiği Muş merkezde ise elektrik tüketimi artmamış aksine azalmıştır. Bu durumun doğal gaz kullanımının elektrik tüketimini azalttığına yönelik önemli bir bulgu olduğu sonucuna varılmıştır.

Doğal gaz kullanımının Muş il merkezi dışında ilçe ve beldelerde de yaygınlaşması durumunda elektrik tüketimine çok olumlu yönde katkı sağlayacağı da önemli bir husus olarak değerlendirilmektedir.

Muş merkezinde doğal gazın aktif bir şekilde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte elektrik tüketiminin nispeten düştüğü tespit edilmekle beraber, doğal gaz kullanımının kayıp kaçak elektrik oranına da olumlu bir etkisinin olduğu da tespit edilmiştir. Doğal gaz kullanımının elektrik kullanımı üzerindeki bu olumlu etkilerinden dolayı elektrik

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1086618

şebekesine aşırı yüklenmelerin de nispeten azaldığı, buna bağlı olarak daha sağlıklı bir elektrik arzının sunulmasına da katkı sağladığı tespit edilmiştir.

### TEŞEKKÜR

Yazar, çalışmaya sunmuş oldukları katkıdan ötürü Vangözü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi ile DOĞUGAZ Anonim Şirketine teşekkür eder.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

### ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Ataşı, H., Güler, H., 2020. Türkiye'nin doğal gaz, petrol ve kömür tüketiminin büyümeye etkisi: ekonometrik bir analiz. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 524-539.
- Ay, M., 2018. Yozgat ili için aylık doğal gaz tüketiminin modellenmesi ve eğilim analizi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(1).
- Başar, S., Tosun, B., Bartık, A., 2020. Türkiye'de büyüme ve sektörel bazda elektrik tüketimi arasındaki ilişki. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(3), 1089-1109.
- Bülbül, M.O., 2010. Türk doğal gaz piyasasının serbestleştirilmesi. *Rekabet Dergisi*, 11(1), 7-35.
- Çalması, G., İnan, K., 2018. Hanehalkı elektrik talebini etkileyen faktörler: Türkiye üzerine bir uygulama. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 52, 71-92.
- Duman, S., Dalcalı, A., Özbay, H., 2021. Manta ray foraging optimization algorithm-based feedforward neural network for electric energy consumption forecasting. *Int Trans Electr Energ Syst.*, 31(9), e12999.
- EPDK, 2016. Elektrik Piyasası 2015 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, Ankara.
- EPDK, 2017a. Elektrik piyasası 2016 yılı piyasa gelişim raporu, Ankara.
- EPDK, 2017b. Doğal gaz piyasası 2016 yılı sektör raporu, Ankara.
- EPDK, 2018a. Elektrik piyasası 2017 yılı piyasa gelişim raporu, Ankara.
- EPDK, 2018b. Doğal gaz piyasası 2017 yılı sektör raporu, Ankara.
- EPDK, 2019a. Elektrik piyasası 2018 yılı piyasa gelişim raporu, Ankara.

- EPDK, 2019b. Doğal gaz piyasası 2018 yılı sektör raporu, Ankara.
- EPDK 2020a. Elektrik piyasası 2019 yılı piyasa gelişim raporu, Ankara
- EPDK, 2020b. Doğal gaz piyasası 2019 yılı sektör raporu, Ankara.
- EPDK, 2021a. Elektrik piyasası 2020 yılı piyasa gelişim raporu, Ankara.
- EPDK, 2021b. Doğal gaz piyasası 2020 yılı sektör raporu, Ankara.
- Haliloğlu, E.Y., Tutu, B.E., 2018. Türkiye için kısa vadeli elektrik enerjisi talep tahmini. *Journal of YasarUniversity*, 13(51), 243-255.
- İsmiç, B., 2015. Gelişmekte olan ülkelerde elektrik tüketimi, ekonomik büyüme ve nüfus ilişkisi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 259-274.
- Koçak, İ., Boran, K., 2019. Türkiye'deki illerin elektrik tüketim etkinliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(2), 351-365.
- Muş Valiliği, 2022. <http://www.mus.gov.tr/ilcelerimiz>, (Erişim Tarihi: Şubat 2022).
- Özdemir, M.S., Dalcalı, A., Ocak, C., 2020. Akarsu tipi hidroelektrik santraller ve bu santrallerde kullanılan türbin-generatörler. *Müh. Bil. ve Araş. Dergisi*, 2(2), 69-75.
- Satman, A., 2011. Türkiye'nin fosil kaynakları (petrol, doğal gaz ve kömür) ve değerlendirilme potansiyeli. *Stratejik Araştırmalar*, 9(16), 177-203.
- Şahin, U., 2018. Forecasting of Turkey's electricity generation and consumption with Grey prediction method. *Mugla Journal of Science and Technology*, 4 (2), 205-209.
- Şevik, S., 2017. İl bazında enerji dengesi analizi: Karabük örneği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: tasarım ve teknoloji*, 5(4), 71-85.
- Tatlı, H., Lebe, F., 2017. Türkiye'de doğal gaz tüketimi, sermaye ve istihdamın ekonomik büyümeyle ilişkisi: eş bütünleşme ve nedensellik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 1-28.
- Tatlı, H., Koç, B., 2018. Enerji tüketimi ve enerji fiyatları bağlamında Türkiye'nin OECD ülkeleri içindeki yeri. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 353-375.
- Tayyar, A.E., 2019. Türkiye'de sektörel elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme ilişkisi: MWALD temelli nedensellik analizlerinin uygulanması. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 54(4), 1937-1956.
- Tekin, İ., Erat, S., Zeren, Y., 2017. Mersin İli'nin 2023 yılına kadar elektrik enerjisi ihtiyacının hesaplanması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 187-195.

## Orhaneli Ofiyolitinin Karbondioksit Saklama Potansiyelinin Araştırılması: DeneySEL Bulgular

Hatice Ünal Ercan<sup>1</sup>, Gönenç Göcmengil<sup>2\*</sup>, Fatma Gülmez Yıldırım<sup>3</sup>, Mustafa Topkafa<sup>1</sup>,  
Ömer Ündül<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup>Faikhbey Mescidi Sokak, İzzet Bey Apartmanı, No20a, Acibadem-Kadıköy, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul Türkiye

hunalercan@ktun.edu.tr<sup>ID</sup>, \*gonengocmengil@gmail.com<sup>ID</sup>, gulmezf@itu.edu.tr<sup>ID</sup>, mtopkafa@ktun.edu.tr<sup>ID</sup>,  
undul@itu.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi:05.04.2022, Makale kabul tarihi: 26.04.2022

### Öz

Çağımızda iklim ve ekoloji krizleri ile mücadele etmek için karbon emisyonlarının azaltılması adına yenilikçi çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Son 30 yıllık dönemde gerçekleştirilen öncü teorik çalışmalar, atmosfer-litosfer etkileşim süreçlerinin doğal bir sonucu olarak oluşan karbonat minerallerinin, atmosferik karbondioksitin kalıcı bertarafı bakımından büyük potansiyel taşıdığını göstermiştir. Bununla birlikte, atmosferik karbondioksitin jeolojik bertarafını hedefleyen yerel uygulamaların başarıyla gerçekleştirilmesi için, başta karbonatlaşmanın hangi kaya türlerinde ve hangi koşullarda en etkili biçimde gerçekleştirilebileceğine dair yaklaşımlarda bulunmak adına literatürdeki pek çok eksiliğin giderilmesine ihtiyaç vardır.

Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alan Türkiye, Tetis okyanusunun kalıntılarını temsil eden ofiyolit ve ofiyolitik yığışım karmaşaları bakımından oldukça zengin bir coğrafyadır. Kuzeybatı Anadolu'da Bursa-Orhaneli civarında geniş alanlarda gözlenen Orhaneli ofiyoliti tipik bir ofiyolit istifinin bazik-ultrabazik litolojilerini oluşturan dünit, harzburgit, klinopiroksenit, gabro ve serpantinlerin yanısıra, değişik boyutlarda kireçtaşı ve şist blokları ile radyolarit ve tüflerden meydana gelir. Mostra ölçeğinde çeşitli ayrışma profilleri ve alterasyon dereceleri sergileyen dünit başlıca olivin + ortopiroksen, magnetit, serpantin, talk, spinel ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Orhaneli ofiyoliti dünitlerinden derlenen numuneler üzerinde kesikli reaktör düzeneğinde, CO<sub>2</sub> tutma potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla reaksiyon deneylerine tâbi tutulmuşlardır. Kırıntılı ve blok olarak hazırlanan dünit örneklerinde farklı pH2-pH4 'ya sahip asit çözeltileri ilave edilerek bu çözeltilerden karbondioksit gazı geçirilmiştir. Deney örneklerinden yapılan mineralojik, petrografik, mikromorfolojik ve kimyasal analizler, numune yüzeyleri ile mikro süreksizlikler boyunca şiddetli alterasyon zonlarının gelişimi ve bu zonlarda manyezit ve siderit gibi Mg- ve Fe- karbonat minerallerinin kristallendiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, Orhaneli ofiyolitinin mostra ölçeğinde CO<sub>2</sub> saklama potansiyelinin olabileceği ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Karbondioksit saklama, kesikli reaksiyon deneyi, Orhaneli Ofiyoliti, SEM-EDX, XRD

## Investigation of Carbon Dioxide Storage Potential of Orhaneli Ophiolite: Experimental Findings

### Abstract

In our age, innovative solutions are needed to reduce carbon emissions to combat climate and ecology crises. Pioneering studies in the last 30 years have shown that carbonate minerals, which theoretically form as a natural result of atmosphere-lithosphere interaction processes, have great potential for permanent disposal of atmospheric carbon dioxide. However, there is a need for local studies in order to make approaches about which rock types and under which conditions secondary carbonation can be performed most effectively for applications of geological removal of atmospheric carbon dioxide.

Turkey, located in the Alpine-Himalayan orogenic belt, has widely distributed ophiolitic series and accretionary complexes that contain mafic-ultramafic lithologies representing the remnants of Tethys ocean(s). The Orhaneli ophiolite around Bursa, NW Anatolia, comprises of the characteristic lithologies for ophiolitic series such as dunite, harzburgite,

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1098481

clinopyroxenite, gabbro and serpentinites as well as various size of schist and limestone blocks with radiolarite chert and tuffs. Dunite samples, exhibiting different weathering profiles and alteration degrees, have a general mineralogical composition of olivine, orthopyroxene, magnetite, serpentine, talc, spinel and clay minerals. Within the scope of this study, batch reactor experiments were carried out on samples collected from the Orhaneli (Bursa) ophiolitic rocks to assess their potential in CO<sub>2</sub> trapping. Dunite samples were prepared as dual sets of clastic and block for reaction experiments with two different acid solutions: pH2-pH4. Mineralogical, petrographic, micromorphological and chemical findings from the experimental samples revealed the development of alteration zones covering surfaces of clast and blocks and discontinues dominated by Mg- and Fe-carbonate minerals. The findings indicate that the dunite lithologies of Orhaneli ophiolite may exhibit a high potential for CO<sub>2</sub> storage in field scale.

**Keywords:** Carbon dioxide storage, batch reaction experiment, Orhaneli Ophiolite, SEM-EDX, XRD

## GİRİŞ

Günümüzde, küresel iklim değişikliğinin doğrudan ve dolaylı etkileri sonucunda, dünya çapında farklı ülkeler çeşitli protokolleri hayata geçirerek, antropojenik karbondioksit emisyonlarını azaltmak amacıyla gerekli teknoloji ve uygulamaların geliştirilmesi için uygun politik ve ekonomik zemini yaratmayı hedeflemektedir. Her geçen gün artan küresel enerji talebi nedeniyle, enerji üretimi ve atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarı katlanarak artmaktadır. Son 30 yılda karbondioksit emisyonlarını azaltmak adına yönetilen jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi farklı "yeşil" enerji türlerine ciddi anlamda yatırım yapılsa da CO<sub>2</sub> salınımları küresel iklim parametrelerinde rekorlar kırmaktadır. 2022 yılı itibarıyla dünyadaki ortalama CO<sub>2</sub> konsantrasyonu tespit eden Havai Mauna Loa istasyonu 419.24 ppm CO<sub>2</sub> oranlarını tespit etmiştir. İklim değişikliğini tetikleyen karbon salınımlarında dünyada 15'inci sırada olan Türkiye, 2020 yılında yılda 366 milyon ton karbon salınımı gerçekleştirmiştir (IEA, 2022).

Paris İklim Anlaşması ile hedeflendiği üzere, 2030 yılına kadar küresel sıcaklık artışını 1.5°C ile sınırlandırmak istenmektedir ve bu değerler ancak atmosferik CO<sub>2</sub>'in yakalanması ve kalıcı olarak depolanması (KYD) uygulamaları ile mümkün görünmektedir. Bu nedenle KYD son yıllarda önemli bir araştırma konusuna dönüşmüştür (Pires ve diğ., 2011; Haszeldine ve diğ., 2018; Gabrielli ve diğ., 2020, Hanssen ve diğ., 2020, Gadikota, 2021). Genel olarak KYD üç farklı ana mekanizma ile gerçekleştirilebilir: i) biyolojik depolama başlıca orman, çim örtüsü ve toprakta ve deniz suyunda doğal yollarla karbondioksit depolanması ii) atmosferin karbondan arındırılmasını sağlayan teknolojilerin kullanılması ve iii) karbondioksitin jeolojik ortamlarda kalıcı olarak hapsedilmesi.

Bu çalışmanın konusunu oluşturan karbondioksitin jeolojik depolanması (KJD) süreçleri, atmosferik karbondioksitin, jeolojik bir ortamda kararlı karbonat minerallerine dönüştürülerek uzun süreli (teorik olarak sonsuza dek) depolanmasını sağlaması bakımından diğer yöntemlerden farklılık sunar (Chizmeshya ve diğ., 2005). Yöntem temelde karmaşık kaya-akışkan reaksiyonlarının taklit edilmesini esas almakta olup, bazen binlerce, bazen de milyonlarca yılda gerçekleşen jeolojik süreçlerdir (Kelemen ve diğ., 2011, DePaolo ve Cole, 2013).

Karbonatlar, deniz, kara ve tatlı su ortamlarında ve jeolojik zamanın büyük bir bölümünde var olan minerallerdir (Reeder, 1983). İki değerlikli iyonların karbonatları (örneğin Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>) tortul kayalarda birincil mineraller olarak yaygın olarak veya ikincil mineraller olarak metamorfik ve magmatik kayalarda ise genellikle daha az miktarda bulunur. En yaygın karbonat mineralleri ise, kalsit [CaCO<sub>3</sub>], siderit [FeCO<sub>3</sub>], manyezit [MgCO<sub>3</sub>], rodokrosit [MnCO<sub>3</sub>] ve dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] tir (Reeder, 1983). Tüm bu karbonat mineralleri uygun teknolojik yöntemler kullanılarak çok kısa sürede çökeltilmektedir (Haszeldine ve diğ., 2018). KJD uygulamalarında jeolojik zamanda doğal olarak gelişen reaksiyonlar taklit edilir. Bu ekso termik reaksiyonlar başlıca, doğada serbest halde bulunan magnezyum oksit (MgO) ve kalsiyum oksit (CaO) ile CO<sub>2</sub>'in birleşmesi sonucunda karbonat minerallerinin oluşmasıdır.



Süperkritik fazdaki CO<sub>2</sub>'nin yeraltı kayac oluşumlarına enjekte edilmesiyle, kayaçla tepkimeye girecek hafif asidik bir çözelti oluşturulacak ve ikincil

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1098481

minarellerin çözünme hızı arttırılacaktır. Bu süreçte kayaçların içerisine CO<sub>2</sub> enjeksiyonu, yerinde mineralizasyona neden olacaktır. KJD uygulamalarında fiziksel, kimyasal ve hidrolojik özelliklere ait bilgiler, rezervuar kayaçların çok fazlı akış ve reaktif kimyasal taşıma simülasyonlarını yürütmek için kritik öneme sahiptir. Kayaçlardaki mineralizasyon oranlarını belirlemek için gereken kritik veri, Ca, Mg, Fe ve Mn gibi önemli karbonat minerali oluşturan katyonların çözeltiye salınımıdır. Yerinde karbonat mineral çökmesini belirleme ve mineralizasyon kinetiğini anlama, jeolojik ayrışma koşullarını anlama gibi parametrelerin en doğru şekilde tanımlanmasını gerektirir (Schaefer ve McGrail, 2019).

Günümüzde, dünya çapındaki KYD teknolojileri kullanılarak yaklaşık 40 milyon ton/yıl CO<sub>2</sub> depolanmaktadır, fakat hedeflenen küresel sıcaklık artış değerlerine ulaşmak için 2050 yılına kadar 5.6 gigaton/yıl depolama yapılması gerektiği öngörülmekte ve bu nedenle büyük ölçekli depolama çözümü yaratılması hedeflenmektedir (Global CCS Institute, 2020). Atmosferik karbondioksitin, jeojik ortamlarda depolanması (KJD) uygulamaları bu hedefe ulaşmak için önemli bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bu uygulamalar için uygun jeolojik ortamlar, başlıca petrol ve gaz rezervuarları, derin tuzlu su akiferleri, terkedilmiş kömür madenleri, sedimanter kaya grupları ve mafik-ultramafik kayalar olarak sınıflanabilir (Metz ve diğ., 2005; Ketzer ve diğ., 2012). Tüm bu ortamlar içinde, mafik-ultramafik kaya grupları, uzun dönem (CO<sub>2</sub>'nin uzun jeolojik süreler boyunca hapsolmesi) KJD uygulamaları bakımından çok daha yüksek potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, bu uygulamaların başarıyla gerçekleştirilebilmesi için, kaya numunelerinin mostra ölçekli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlanması başta olmak üzere, KJD potansiyellerinin belirlenmesi için deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulur. Bu nedenle uygulamaların yapılacağı alanlara özgü yerel çalışmalar tamamlanmalıdır.

Ülkemizde, geniş alanlarda yüzlek veren ofiyolitik kayaları (Robertson, 2002) KJD uygulamaları bakımından ele alan çalışmalar bulunmamaktadır. Okyanus ortası sırtlarda ve yitim üstü zonlarda gelişmiş olan ofiyolitik mafik/ultramafik kayaçlar okyanus tabanlarında ve orojenik alanlarda kıtaların üstüne yerleşmiş farklı karmaşık kaya gruplarını bünyesinde barındıran kaya

paketlerinde yer almaktadır (Moore, 1982). Ayrıca silisyum içeriği düşük olan volkanik kayalar da (bazalt, pikrit, komatayit gibi) mafik-ultramafik kaya sınıfına girmektedir. Bu kayaç gruplarında yaygın olarak bulunan mineraller plajiyoklas, piroksen ve olivindir. Olivin KYD uygulamalarında en hızlı tepkime veren mineral grubu olup, adı yapısındaki baskın iki değerlikli metal katyonunun kimliği ile belirlenir. Mg olivin forsterit, Fe olivin fayalit ve Mn olivin teforit olarak adlandırılır. Forsterit ve fayalit tam bir katı çözelti oluşturur, ancak yer yüzeyinde en yaygın bulunan olivin, iki değerlikli metal odacıklarına sahip olan ve ~%10 Fe<sup>2+</sup> içeren forsteritik olivindir (Oelkers ve diğ., 2015). Forsterit iki değerlikli metal-oksijen bağlarının görece zayıflığı nedeniyle en hızlı çözünen silikat mineralleri arasındadır (Velbel, 1999) ve çözünme yalnızca iyonik Mg-O bağlarının kırılmasıyla ilerler. Bu mineralin (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) karbonasyonu sonucu CO<sub>2</sub>'yi çevresel olarak uyumlu ve stabil bir mineral olan manyezite (MgCO<sub>3</sub>) dönüşümü oldukça kolaydır ve bu nedenle bölgesel olarak karbon depolama uygulamaları için büyük oranda tercih edilir (Chizmeshya ve diğ., 2005). Forsteritik olivinin çözünme hızlarını etkileyen başlıca faktörlerin 1) pH, 2) su aktivitesi, 3) sıcaklık ve 4) mineral-sıvı ara yüzey alanı olduğu görülmektedir (Oelkers ve diğ., 2018).

Bu çalışma kapsamında, literatürde pek çok çalışmaya konu olmuş Orhaneli ofiyolitine ait dunit örnekleri, kesikli reaktör düzeneğinde CO<sub>2</sub> çözeltisi ile tepkimeye sokulmuş ve reaksiyonlar sonucunda gelişen mineral türleri, bunların yayımlıları, Orhaneli ofiyolitinde yer alan dunitlerin KJD uygulamaları için potansiyelleri irdelenmiştir.

## ORHANELİ OFİYOLİTİ

Anadolu ve çevresi milyonlarca yıllık jeolojik evrimi boyunca Tetis okyanusal levhasının yok olması ve buna bağlı olarak tektonik blokların birbirine kenetlenmesi ile günümüzdeki haline kavuşmuştur (Ketin, 1966). Bu kenet bölgelerinde yer alan ve farklı okyanusal alanların kalıntılarını içeren suture zonlarının en önemlilerinden biri İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu olarak öne çıkmaktadır. Bu alanda yer alan yığılım karmaşaları ve ofiyolitik kayaçlar uzun mesafeler boyunca takip edilebilmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Tetis okyanus tabanında oluşum, tektonik olarak Anadolu levhasının üzerine itilme ve karaların üzerinde de

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1098481

alterasyon süreçlerine maruz kalma sonucunda ofiyolitik kayalar çoklu bir deformasyon evrimine ve mineralleşme sürecine sahiptir (Robertson, 2002). Orhaneli Ofiyoliti masif mafik-ultramafik kaya gruplarına ve yığılım prizması parçalarına sahip olup, çoklu ofiyolit gelişim süreçleri ve mineralizasyon koşullarını anlama adına ideal bir kesit sunmaktadır (Ündül ve Tuğrul 2012; Uysal ve diğ., 2015).

Orhaneli ofiyoliti Tetis okyanusal kuşağında Kretase döneminde oluşmuş olup, farklı manto-ergiyik etkileşimi belgeleyen kimyasal süreçlerden etkilenmiştir (Uysal ve diğ., 2015; Akbulut, 2018). Okyanus tabanında gerçekleşen serpantinizasyon ve yüzeylendikten sonra gelişmiş olan alterasyon ve mineralizasyon süreçlerini de bünyesinde barındırmaktadır (Ündül ve Tuğrul 2012). Jeolojik açıdan İzmir-Ankara-Erzincan sutür zonunun batı kesiminde, Bursa güneyinde kalmakta olan Orhaneli ofiyoliti, başlıca ultramafik kümülatlar (kromit içeren dünit, verlit, lertzolit, harzburjit, piroksenit kayaları) ve daha az oranda kümülat gabro ve gabronoritlerden meydana gelmektedir (Sarıfakıoğlu ve diğ., 2009; Uysal ve diğ., 2015). Bu birim diyabaz dayklarınca kesilmekte, daha sonraki dönemlerde ise daha genç Eosen yaşlı granitik kayalarca sokuluma uğramaktadır (Harris ve diğ., 1994).

Serpantinleşme, sıvı kaybetme ve hacim genişlemesi süreçleri ile ofiyolitik kayalar, özellikle dünitik kayalar, mineraller arasındaki boşlukları ve sıvı-kaya etkileşimi ile oluştuklarından sonra da aktif bir mineralizasyon sistemi olarak çalışmaktadırlar (Kelemen ve diğ., 2020). Orhaneli ofiyoliti bu süreçlerin meydana geldiği ve doğal süreçlerin hızlı bir şekilde taklit edilebileceği ideal bir ortam olarak göze çarpmaktadır (Ündül ve Tuğrul, 2012). Bunun yanı sıra, Orhaneli ofiyolitinin Tunçbilek termik santraline yakın olması, ülkemizde termik santrallere yakın olan mafik-ultramafik kayaların karbon yakalama potansiyellerinin ortaya konması açısından önemli bir fırsat olarak öne çıkmaktadır.

Orhaneli ofiyolitinin karbon yakalama potansiyelini anlamak adına, Orhaneli ofiyolitinden elde edilmiş örnekler üzerinde petrografik çalışmalar, kesikli reaksiyon deneyleri, SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) ve XRD (X-Işını Difraktometresi) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde bu çalışmaların sonuçları verilecek ve Orhaneli ofiyolitinin karbon saklama potansiyeli tartışılacaktır.

## DENEYSEL YÖNTEMLER

### Başlangıç Malzemeleri

Saha çalışmalarında, Bursa Orhangazi Çınarcık Barajı dolaylarından yüzlek veren Orhaneli ofiyolite ait birimlerin, farklı ayrışma özellikleri gösteren seviyelerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla derlenen sondaj karot (3 x 10 cm) numuneleri arasından mostra özelliklerine göre ayrılmamış halde bulunan, siyahımsı koyu yeşil renkli dünit örnekleri seçilmiştir. Örnek lokasyonları Ündül ve Tuğrul (2012)'de verilmektedir. Bu örneklerin seçilme sebebi, zaten altere olmuş olan örneklerle deney yapmama amacını taşımaktadır. Karot örnekleri arasında, ilksel petrografik inceleme ve mineralojik analizlere göre en az oranda alterasyona uğramış olan belirlenerek, kayaç-akışkan deneyleri için başlangıç malzemesi olarak seçilmiştir. Numune, olivin ve ortopiroksen ile spinel grubu opak mineraller bulundurur ve holokristalen-adkümülat doku sergiler. Tek nikelde, şeffaf-soluk yeşil ve camsı olarak izlenen olivinler forsterit olarak tanımlanmıştır. Tane sınırları ve çatlaklar boyunca serpantinleşme ve elek dokusunun gelişimi tipiktir. Alterasyona bağlı olarak, kısmen talk ve kil minerallerinin de geliştiği gözlenir.

Dünit numuneleri blok (1 cm<sup>3</sup>) ve kırıntı (1-5 mm) haline getirilerek ve pH 2 ve pH 4 olan sulu çözeltiler olacak şekilde ikili deney seti hazırlanmıştır. Tüm blok ve kırıntılı numuneler, aseton (x 1) ve distile su (x 3) ile yıkamaya tabi tutularak kirlilik ve tozdan arındırılmıştır (Tablo1). pH2 ve pH4' deki sulu çözeltiler hidroklorik asit (HCl) çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır.

### Deney Düzenegi

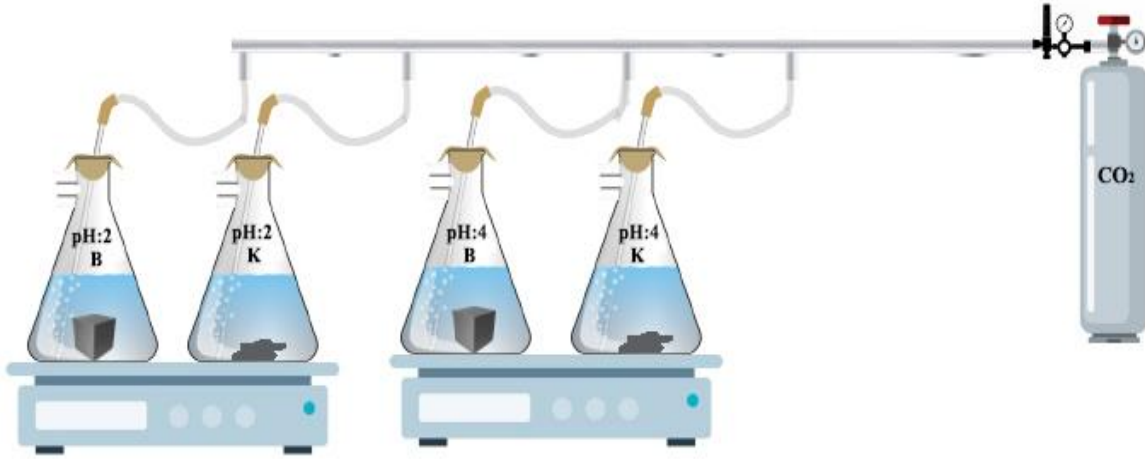
Kesikli reaktör düzeneginde yapılan kayaç-akışkan reaksiyon deneyleri, Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Teknolojisi Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzenegi için dört erlen içine ayrı ayrı blok ve kırıntılı numuneler konulmuştur. Her bir kırıntılı ve blok örneğinin bulunduğu erlenlerin içine 100 ml farklı pH'lara sahip asit çözeltileri ilave edilerek akış hızı 1 ml/dk olan karbondioksit gazı geçirilmiş (Şekil 1) ve oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Farklı pH'ların seçimi asitlik ve bazlık oranlarının kayalarda yapacağı tepkiler ve eski deneysel çalışmalar gözetilerek seçilmiştir. Deney 10 gün boyunca devam etmiş ve 10. günün sonunda karbondioksit gazı geçişi kapatılarak çözeltilerin pH

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1098481

ölçümleri yapılmıştır. Numuneler oda sıcaklığında kurutulup XRD ve SEM-EDX analizleri için hazırlanmıştır.

**Tablo 1.** Karbon depolama deneylerinde kullanılan ultramaafik kayaların pH aralığını, numune yapısını ve deneyde kullanılan miktarını gösterir tablo

pH aralığı	Numune yapısı	Miktar (gr)
2	Blok (1 cm <sup>3</sup> )	~ 3.1
2	Kırıntılı (1-5 mm)	~ 4
4	Blok (1cm <sup>3</sup> )	~ 3.1
4	Kırıntılı (1-5 mm)	~ 4



**Şekil 1.** Kesikli reaktör düzeneği. Kısaltmalar: B: blok numune, K: Kırıntılı numune

### Analitik Yöntemler

Örneklere meydana gelen elementel, mineralojik ve kristalografik değişimler için çeşitli inceleme ve analizler gerçekleştirilmiştir. Birincil ve deneye girmiş numunelerde özellikle mineralojik farklılaşmayı ve değişimin büyüklüğünü değerlendirmek için hem düz hem de çapraz polarize ışık kullanan Leica DM4500P polarizasyon mikroskobu kullanarak, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mineraloji Petrografi Laboratuvarı'nda incelenmiştir.

Ayrıntılı mineralojik ve morfolojik tanımlamalar için XRD ve SEM-EDX aletleri kullanılmıştır. XRD çekimleri, Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde, Bruker D8 Advance model cihazda, CuK $\alpha$  radyasyonu, 40 mA, 40 kV çalışma koşullarında, 0,005° tarama hızında,

0,1 sn zamanda, 0,2 mm slit aralığında ve LynxEye dedektör kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin mikro-morfolojik özellikleri, Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde'nde ZEISS EVO LS 10 model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak tespit edilmiştir. SEM'in çalışma koşulları, her bir element için 15 kV hızlandırma gerilimi, 5-15 mA akım ve 10-20 s sayma süresidir. Au kaplama işlemi, 2 mbar, 15 mA ve 50 s çalışma koşulları altında bir SPI-MODULE® püskürtmeli kaplayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve ~ 150 Å kaplama kalınlığı sağlanmıştır.

## SONUÇLAR

### Karbon Reaksiyon Deney ve Gözlemleri

Yıkayıp, kurutulmuş blok ve kırıntı haldeki dünit örnekleri (Şekil 2a,b) pH2 ve pH4 çözeltilerinin bulunduğu erlenlerin içerisine yerleştirilmiş ve düzenekten karbondioksit gazı geçirilmeye başlanmıştır. Deneyler 10 gün boyunca devam etmiş çözeltilerin pH sınırın sabit tutulması için her gün pH ölçümü yapılmıştır. Çözeltilerin pH seviyelerinde meydana gelen değişiklikler tespit edildikten sonra pH seviyelerinde yeniden düzenleme hidroklorik asit kullanılarak yapılmıştır. Deneyin başlatıldığı günden itibaren her iki deney grubuna ait örneklerde ve çözeltilerde belirgin renk değişikliği meydana gelmiştir. Blok örneklerin renkleri önce yeşil deney sonunda ise kahverengi olmuştur (Şekil 2c,e). pH 2 deney grubunun çözeltilerinde renk değişimi daha belirgin olarak gerçekleşmiştir. Beklendiği üzere kırıntılı örneklerde hem numunelerde hemde çözeltilerde renk değişimi blok örneklere oranla daha hızlı ve fazla miktarda gerçekleşmiştir (Şekil 2d,f). Kırıntılı örnekler blok örneklere oranla daha koyu kahverengidir.

Deneyin 10. günü tamamlandıktan sonra deney düzeneği kapatılmış ve deney sonlandırılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında iki gün kurutulmuş ve blok

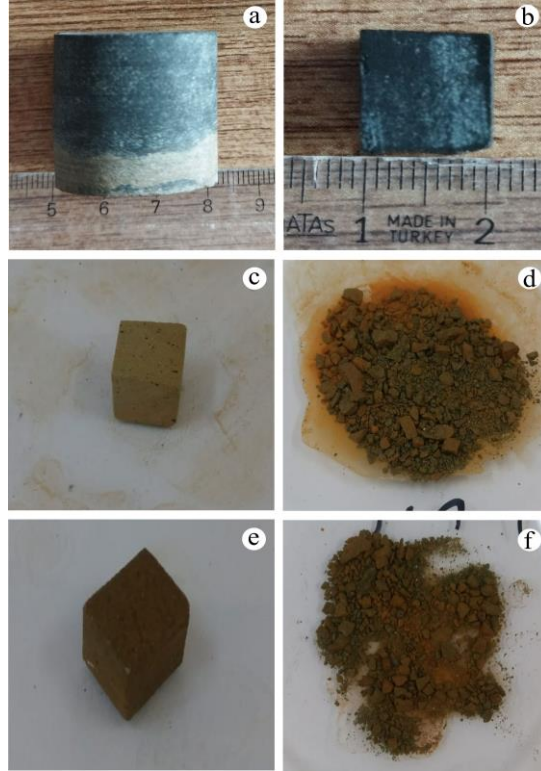
örneklerinde meydana gelen değişimin kalınlığının belirlenmesi için bloklar kırılmıştır. Her iki numunede de farklılaşmanın numune yüzeyinden içe doğru yaklaşık 1 mm'lik bir kalınlıkta meydana geldiği tespit edilmiştir.

### Petrografik Bulgular

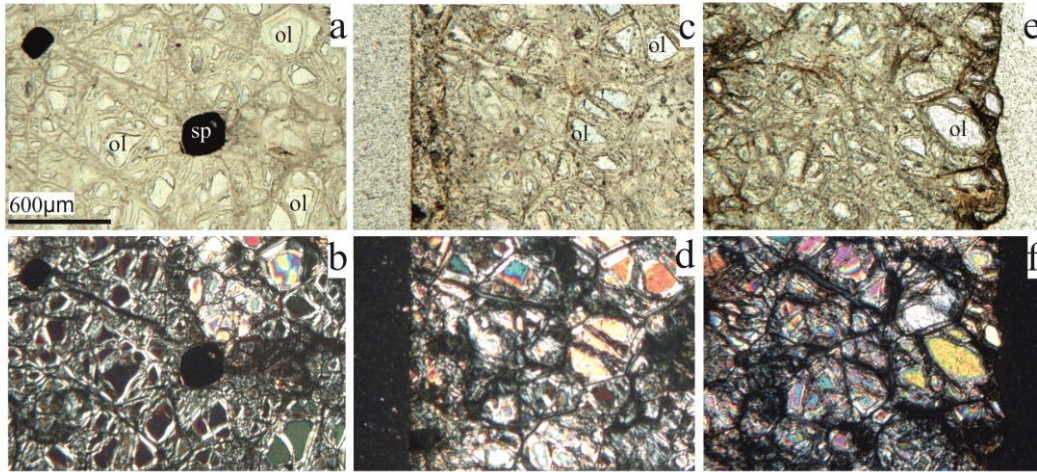
Başlangıç malzemesi olarak kullanılan dünit örneğinde olivinlerin tek ve çift nikol görüntülerinin oldukça temiz ve alterasyon izleri taşımadıkları gözlenmiştir (Şekil 3a,b). Deneylere tabi tutulan örneklerin yüzeyinde koyu kırmızımsı-kahve rengi ile belirgin bir iddingsit zarfın geliştiği gözlenmiştir. Blok numunelerde bu zarf, örnek yüzeyinden itibaren, yüzey morfolojisine bağlı olarak değişken olmakla birlikte, azami 50 µm kalınlık sergilemektedir (Şekil 3c-f). Kırıntılı numunelerde, kırıntıların yüzeyinden içeri doğru koyu kahverengiden, açık kahve, kahvemsı bej renge tedrici bir geçiş olduğu gözlenir (Şekil 4). Ayrıca, ikincil mineralizasyon gelişiminin sadece kırıntı yüzeylerinde sınırlı kalmayıp, muhtemelen kırma işlemine bağlı olarak kayada ve minerallerde oluşan ayrık süreksizlikler ve çatlaklar boyunca geliştiği de gözlenmiştir. Özellikle forsterit tanelerinin çevresinde ve çatlaklarda koyu renkli mineral gelişimi tipiktir (Şekil 4 a,c).



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1098481

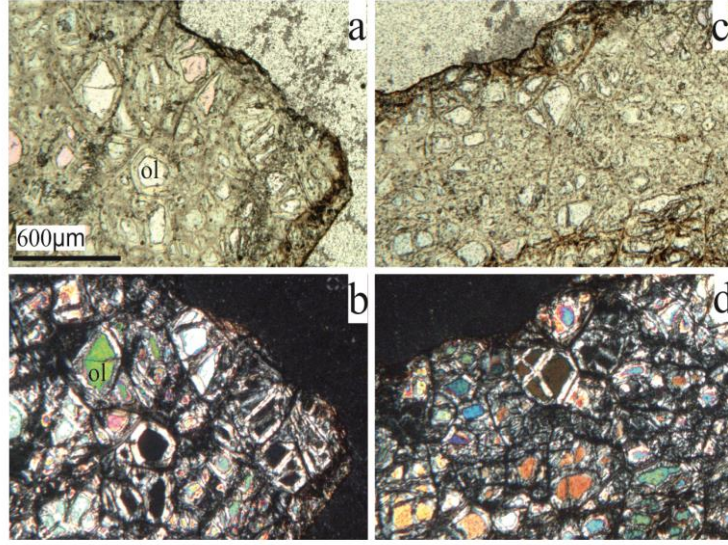


**Şekil 2.** Orhaneli ofiyolitine ait dünit kayasının karbon deneyi öncesi ve sonrası görüntüleri a) Dünit karotu b) karbon deneyine girmemiş blok numune c) pH2 de işlem görmüş blok numune d) pH2 de işlem görmüş kırıntılı numune e) pH4 de işlem görmüş blok numune f) pH4 de işlem görmüş kırıntılı numune



**Şekil 3.** Başlangıç malzemesi olarak kullanılan dünit örneğinde olivinlerin a) tek ve b) çift nikolde genel görünümü. pH4 çözelti ile tepkimeye sokulan dünit blokunun c) tek nikol ve d) çift nikolde görünümü. pH2 çözelti ile tepkimeye sokulan dünit blokunun e) tek ve f) çift nikolde görünümü (4x büyütme) (Kısaltmalar: ol, olivin; sp, spinel).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1098481



**Şekil 4.** Reaksiyon deneylerine tâbi tutulan kırıntılı dünit numunelerinde gelişen reaksiyon zonlarının genel görünümleri a) pH4 çözelti ile tepkimeye sokulan kırıntılıların tek nikol ve b) çift nikol görünümleri c) pH2 çözelti ile tepkimeye sokulan kırıntılıların tek nikol ve d)çift nikol görünümleri (Kısaltmalar: ol, olivin)

#### Mineralojik Bulgular

Kesikli reaksiyon sistemi ile gerçekleştirilen akışkan: Kaya oranı ve süre varyasyonlarına dayalı olan dünit karbon depolama deneylerinde dahi kolaylıkla gözlemlenebilecek kapsamda makroskopik ve mikroskobik değişiklikler gerçekleşmiştir (Şekil 4). İki ana bölüme ayrılmış deney düzeneğine yerleştirilmiş kırıntılı ve blok örnekler üzerinde meydana gelen değişim ve ikincil mineral kristallenmeleri XRD çözümlenmelerinde tespit edilmiştir ve SEM analizlerine ait mikromorfolojik görüntülerde farklı mineral formlarında görüntülenmiştir.

Yapılan XRD çözümlenmelerinde başlangıç (P1) örneğinin mineralojik bileşiminin serpantin grubuna ait antigorit ( $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ ) ve lizardit ( $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ ) ile olivin grubuna ait forsterit ( $Mg_2SiO_4$ ) mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 5). Deney örneklerinin XRD çözümlenmelerinde ise karbonik asitle muamele gören dünit minerallerinin mineralojik bileşiminde meydana gelen alterasyon ve ikincil kristal oluşumlarını ortaya konulmuştur (Şekil 5). Bu numunelerin tamamında P1 örneğinde olduğu gibi antigorit, lizardit, forsterit mineralleri tespit edilmiş olup bu minerallere ikincil karbonat mineralleri eşlik etmektedir (Şekil 5).

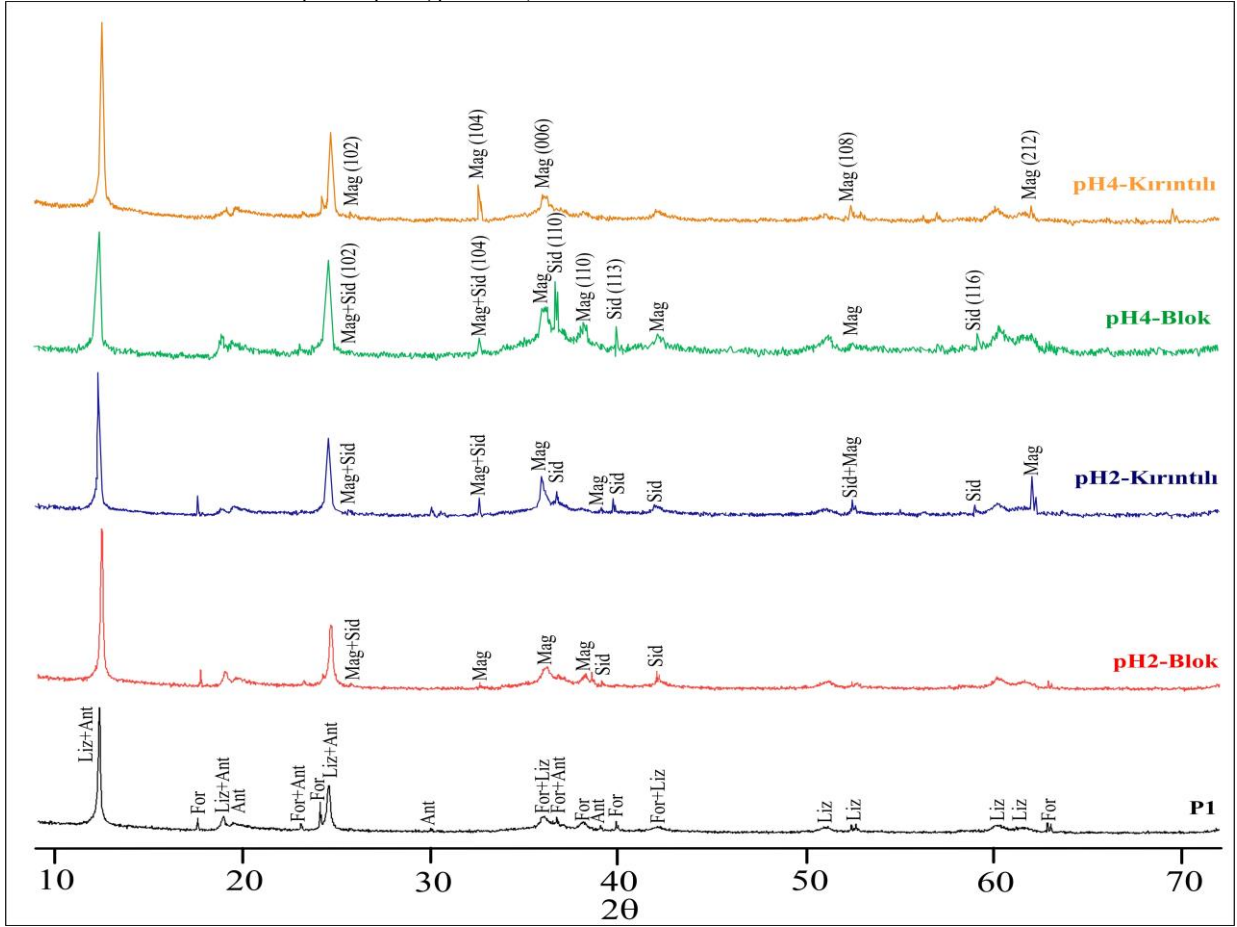
Tespit edilen bu ikincil karbonat mineralleri, kesikli reaksiyon deneylerinin ürünleri olan siderit ( $FeCO_3$ ) ve magnesit ( $MgCO_3$ ) mineralleridir. pH2 -

blok ve -kırıntılı numunelerinde magnesit mineraline ait (104), (110), (204) düzlemleri, siderit mineraline ait (102), (110), (212) yüzeylerine ait pikler tespit edilmiştir. pH4 -blok -kırıntılı numunelerine ait X-ışınları çözümlenmelerinde magnesit mineraline ait (102), (104), (110), (202), (116) ve (108) düzlemleri ve siderit mineraline ait (102), (104), (110), (108), (204), (116) yüzeylerine ait pikler tespit edilmiştir (Şekil 5).

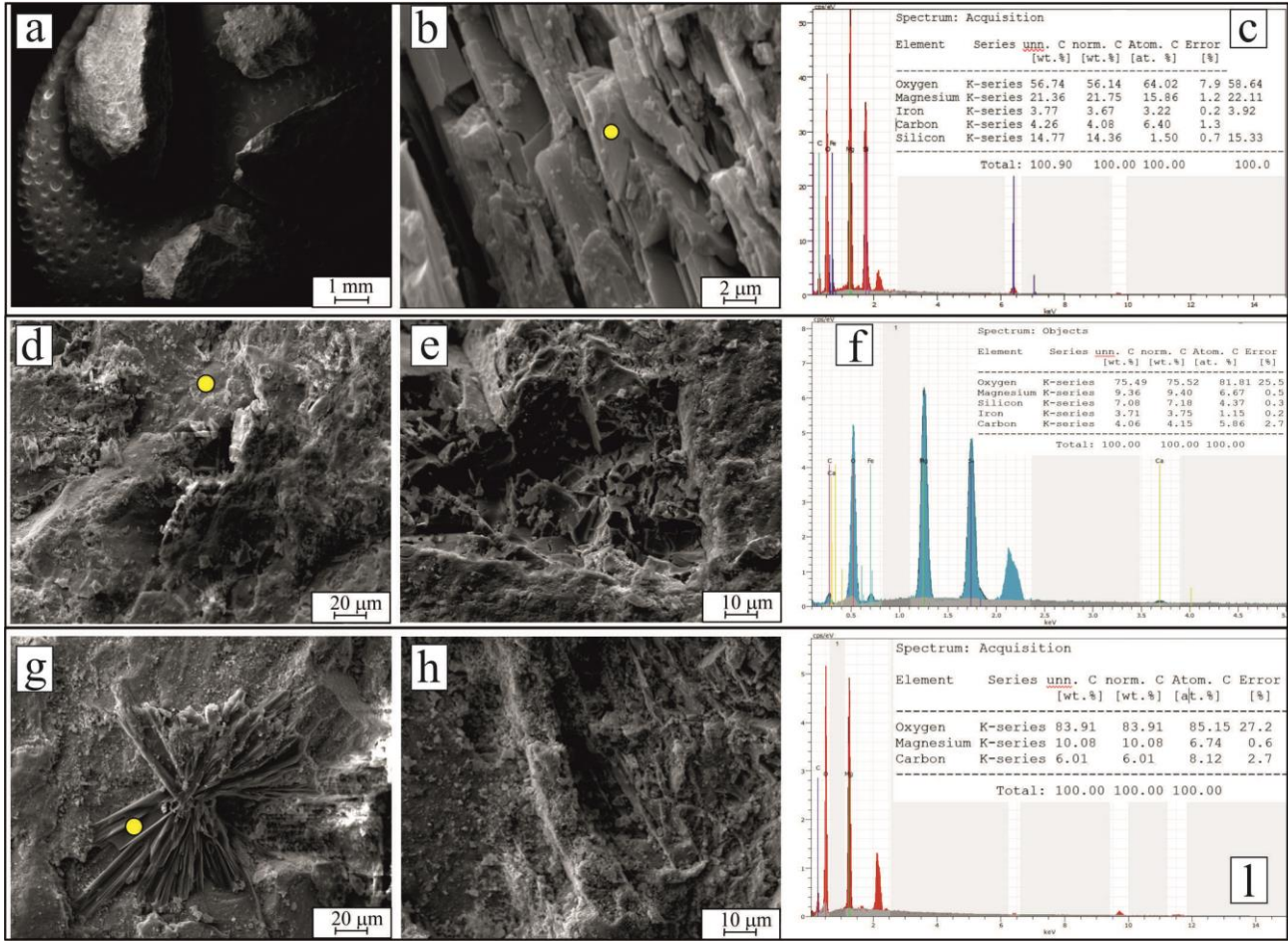
Yapılan SEM ve EDX incelemeleri ile örneklerin mikromorfolojik özellikleri ortaya konmuş ve elementel içerikleri belirlenmiştir. P1 örneğine ait SEM görüntüsünde forsterit minerali görüntülenmiştir (Şekil 6a). Bu mineralden alınan EDX verilerinden elde edilen Mg, Fe, Si ve O elementel bileşim değerleri sırasıyla 21.36 %, 3.77%, 14.77% ve 56.74% olarak belirlenmiştir (Şekil 6a). EDX analizinde P1 örneğinin C içeriği ise 4.26% olarak tespit edilmiştir. pH2-blok numunesinin SEM incelemelerinde gelişmiş güzel çatlaklar bulunan olivin minerali tespit edilmiştir bu örnekte karbonat minerali gözlenmemiştir (Şekil 6b). Yapılan EDX analizinde ise elementel bileşiminin P1 örneğinden farklı Mg, Fe, Si, O ve C elementel içeriğe sahip olduğu ve elementel bileşim değerlerinin sırasıyla 9.36 %, 3.71%, 7.08%, 75.49% ve 4.06% olduğu ölçülmüştür (Şekil 6b). pH2-kırıntılı örneğine ait SEM analizlerinden elde edilen görüntülerde ışınal ikincil magnesit minerali tespit edilmiştir ve EDX

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1098481

analizin de Mg, O ve C element içerikleri 10.08%,  
83.91% ve 6.01% olarak ölçülmüştür (Şekil 6c).



**Şekil 5.** Dünit ve karbon depolama deneyine girmiş örneklerin X-ışınları kırınımı çözümlenmeleri. P1 örneği, reaksiyona sokulmamış örneği temsil etmektedir. For: Forsterit, Ant: Antigorit, Liz: Lizardit, Mag: Magnesit, Sid: Siderit



**Şekil 6.** Örnekler için SEM görüntüleri ve EDX verileri, a) Sol: distile su ve aseton ile yıkanmış kurutulmuş örnekler. b) P1 örneği forsterit minerali mikromorfolojik görüntüsü. c) EDX analiz sonucu, d ve e) Sol ve Orta: pH2-Blok örneğine forsterit mineraline ait görüntüler. f) EDX analiz sonucu, g) Sol: pH2-Kırıntılı örneğine ışınal magnesit minerali görüntüsü. h) Aynı örneğe ait mikrokristalen Fe-veya Mg- karbonat çökeltileri. i) Işınal magnesit mineraline ait EDX analiz sonucu. Sarı noktalar EDX analizinin yapıldığı noktaları göstermektedir

Ayrıca örnek yüzeyi boyunca yayılmış özşekilsiz ikincil mineral oluşumlarından yapılan EDX analizlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. pH4-blok numunesinin SEM gözlemlerinde olivin minerali tespit edilmiş olup mineral yüzeyinde ikincil mineral oluşumlarının oldukça sınırlı geliştiği gözlenmiştir. Bu örnekten elde edilen EDX ölçümlerinden Mg, Fe, Si, O ve C element içeriklerinin sırasıyla 8.09%, 2.84%, 5.39%, 78.93% ve 4.75% olduğu belirlenmiştir (Şekil 7a). pH4-kırıntılı örneğine ait SEM görüntülerinden olivin minerali üzerinde özşekilsiz mineral kümeleri ve özşekilli kübik yapılar belirlenmiştir. Kristallerden yapılan EDX ölçümlerinde bu minerallerin Mg, Fe, Si, O ve C elementel bileşiminin sırasıyla 7.82%,

4.07%, 6.75%, 76.98% ve 5.01% olduğu belirlenmiştir. Kübik kristallerden yapılan EDX ölçümlerinde ise Mg, O ve C element içeriklerinin sırasıyla 12.12%, 80.31% ve 7.57% olduğu ölçülmüştür (Şekil 7b).

## TARTIŞMA

Deney örneklerinde yapılan makroskobik gözlemlerde oldukça belirgin yüzey değişikliği meydana geldiği belirlenmiştir. Siyahımsı renkli kayacın önce yeşil sonra ise kahverengiye dönüşümü aşamalı olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu deneyin başlangıç aşamasında ve devamında gerçekleşen reaksiyonların ve element salınımının farklı olduğunu ortaya koymaktadır ki bu forsterit mineral

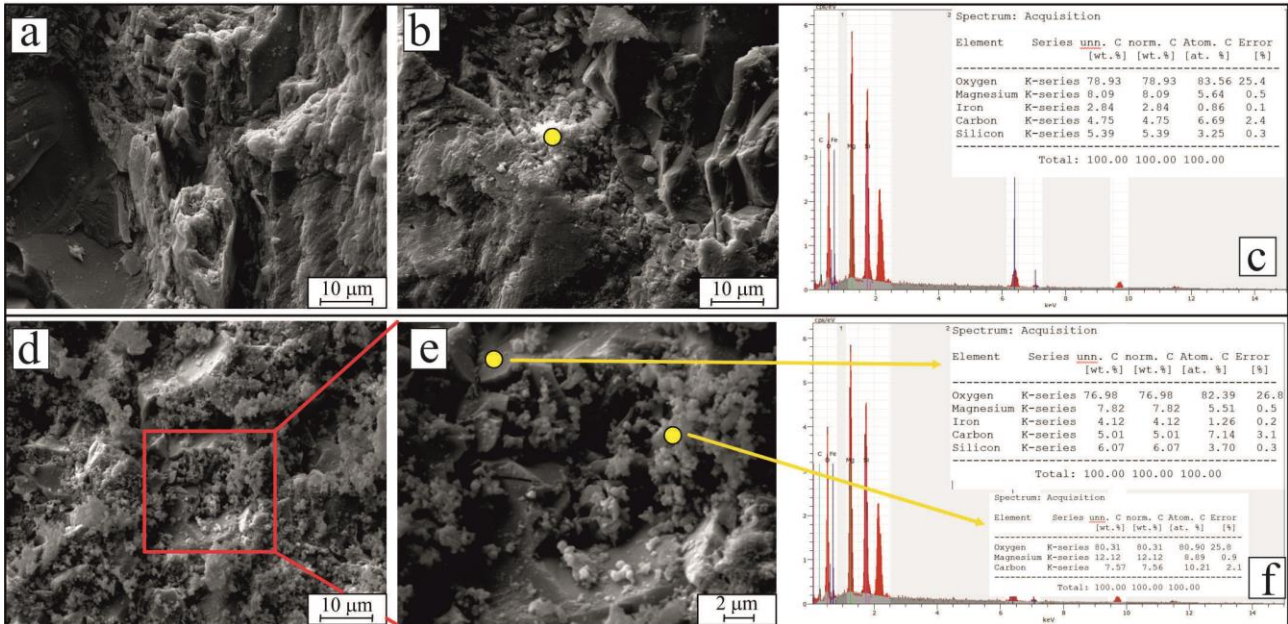
Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1098481

yüzeylerinin reaktivitesinin uzamsal olarak heterojen oluşundan kaynaklanır (Oelkers ve diğ., 2018). Deneyden beklendiği üzere, alterasyon gelişimi daha asidik çözeltiliye kıyasla pH4 örneklerinde daha düşük gerçekleşmiştir. Ayrıca kırıntılı örnekler için SEM görüntüleri olivinlerde belirgin çözünme izleri ve çukurların geliştiğini ortaya çıkarmıştır. Artan yüzey alanı ve düşük pH, numunelerin minerallerin daha hızlı bir şekilde çözünmesine neden olmuştur. Forsterik olivin çözünme hızları üzerinde yapılan deneyler de bunu kanıtlar şeklinde düşük pH ve artan mineral-sıvı ara yüzeyinin olivin minerali üzerinden element salınımını artırdığını göstermektedir (Oelkers ve diğ., 2018).

XRD ve SEM analizleri de petrografik incelemeleri ile oldukça tutarlı olup olivin minerali ile serpantin mineralleri ve eser miktarda ikincil mineraller tanımlanmıştır. Tespit edilen ikincil mineraller olasılıkla deneylerle ilişkili olarak gelişen ve kimyasal çökeltim ürünü olan magnesit ve siderit mineralleridir. SEM gözlemlerinde, olivin mineralinin yanında amorf veya mikrokristalin Mg-veya -Fe karbonatların bir karışımı olan, ayırt edilebilir bir şekilde sahip olmayan kristaller gözlenmiştir. Belirgin kristal şekillerin oldukça az

gözlenmesine rağmen EDX çözümlerinden elde edilen yüksek Mg, Fe, O element içerikleri de potansiyel olarak XRD ölçümlerinde tanımlanan Mg-ve Fe- karbonatlara ait verileri desteklemektedir. Ayrıca EDX analizlerinden elde edilen bir diğer önemli sonuç ise, P1 örneğine kıyasla deney örneklerinin C ve O element içeriklerinin daha yüksek oluşudur. C ve O elementlerindeki bu artış olası karbonat minerallerinin tutunumunu işaret ettiği yönünde yorumlanmıştır.

Olivin gibi silikat minerallerinin sulu çözeltiler ile etkileşimi durumunda oluşacak ikincil mineraller, bu minerallerin yapısında bulunan metal-oksijen bağlarının türüne bağlıdır (Brantley, 2008; Schott ve ark., 2009). Örneklerde tespit edilen forsterit yapısı magnezyum atomları ile bağlanan silikon-oksijen tetrahedrallerinden oluşur. Forsterit iki değerlikli metal-oksijen bağlarının görece zayıflığı nedeniyle en hızlı çözünen silikat mineralleri arasındadır ve çözünme yalnızca iyonik Mg-O bağlarının kırılmasıyla ilerler (Velbel, 1999). Özetle, forsteritik olivin yapısında bulunan deney örneklerinde Mg-O ve kısmen Fe-O ikamelerin hâkim olduğu ve karbonik asitle muamele ile Fe ve Mg -O çiftlerinin etkilendiği ve çözeltiliye geçtiği söylenebilir.



Şekil 7. Örneklere ait SEM görüntüleri ve EDX verileri, a) pH4-Blok örneği forsterit minerali SEM görüntüsü. b) Forsterit minerali üzerinde gelişmiş özşekilsiz kristal kümesi, c) Kristal kümelerine ait EDX analiz sonucu, d ve e) Sol-

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1098481

orta: pH4-Kırıntılı örneği forsterit minerali üzerinde mikrokristalen Fe-veya Mg- karbonat çökelleri görüntüsü. f) pH4-Kırıntılı EDX analiz sonucu. Sarı noktalar EDX analizinin yapıldığı noktaları göstermektedir

## SONUÇLAR

Kuzeybatı Anadolu'da Bursa ili civarında yayılım gösteren Orhaneli ofiyolitinden alınan dünite ait kırıntılı ve blok örnekleri üzerinde pH2 ve pH4'te CO<sub>2</sub> gazı geçirilerek bu kayacın karbon depolama potansiyeli araştırılmıştır. Deney öncesi ve deneyden sonra uygulanan XRD ve SEM-EDX incelemeleri sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Genel olarak karbon depolama çalışmalarında gereken iki değerlikli katyonlar için potansiyel bir kaynak malzeme olan forsteritik olivin mineralinde meydana gelen değişim ve mineralden Mg ve Fe elementlerinin çözeltilmeye salınımı ile ilişkili Mg- ve Fe- karbonat minerallerinin çökelişi literatürde açıklananlarla uyumludur.

Orhaneli ofiyolitine ait dünitin üzerinde gerçekleştirilen CO<sub>2</sub>-deneyleri sonucunda elde edilen mineralojik, mikromorfolojik ve kimyasal sonuçları birleştirilerek, CO<sub>2</sub>'nin mevcut mineral topluluğu üzerinde oldukça etkili olduğu ve sıvı-kayaçların etkileşimleri sonucunda CO<sub>2</sub>'in karbonatlaşırabilmesi için muhtemelen potansiyel bir kaynak malzeme olduğunu ortaya koymaktadır.

Söz konusu veriler Orhaneli ofiyolitinin mineralojik olarak karbon depolama çalışmaları için yüksek potansiyel taşıdığını göstermekte olup, Türkiye'de termik santrallere yakın arazilerde konumlanmış olan mafik-ultramafik alanların karbon depolama potansiyelleri detaylı saha ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenmelidir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

Agrawal, A. K., Mehra, A. (2020). Dunit carbonation in batch-tubular reactor, Environmental Science and Pollution Research, 1-7 31439-31445.  
 Akbulut, M. (2018). Investigation of silicate micro-inclusions from Orhaneli and Harmancik chromitites (NW Turkey): New ultrahigh-pressure evidence from

Western Tethyan ophiolitic chromitites. Ofioliti, 43(1), 1-22.  
 DePaolo, D. J., Cole, D. R. (2013). Geochemistry of geologic carbon sequestration: an overview, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 77(1), 1-14.  
 Elidemir, S., Güleç, N. (2018). Geochemical characterization of geothermal systems in western Anatolia (Turkey): implications for CO<sub>2</sub> trapping mechanisms in prospective CO<sub>2</sub>-EGS sites, Greenhouse Gases: Science and Technology, 8(1), 63-76.  
 Harris, N. B., Kelley, S., & Okay, A. I. (1994). Post-collision magmatism and tectonics in northwest Anatolia. Contributions to Mineralogy and Petrology, 117(3), 241-252.  
 Gadikota, G. (2021). Carbon mineralization pathways for carbon capture, storage and utilization, Communications Chemistry, 4(1), 1-5.  
 Gabrielli, P., Gazzani, M., & Mazzotti, M. (2020). The role of carbon capture and utilization, carbon capture and storage, and biomass to enable a net-zero-CO<sub>2</sub> emissions chemical industry. Industrial & Engineering Chemistry Research, 59(15), 7033-7045.  
 Hanssen, S. V., Daioglou, V., Steinmann, Z. J. N., Doelman, J. C., Van Vuuren, D. P., & Huijbregts, M. A. J. (2020). The climate change mitigation potential of bioenergy with carbon capture and storage. Nature Climate Change, 10(11), 1023-1029.  
 Haszeldine, R. S., Flude, S., Johnson, G., & Scott, V. (2018). Negative emissions technologies and carbon capture and storage to achieve the Paris Agreement commitments. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 376(2119), 20160447.  
 IEA (2022), Global Energy Review: CO<sub>2</sub> Emissions in 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>.  
 Kelemen, P. B., Matter, J. (2008). In situ carbonation of peridotite for CO<sub>2</sub> storage, Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(45), 17295-17300.  
 Kelemen, P. B., Matter, J., Streit, E. E., Rudge, J. F., Curry, W. B., Blusztajn, J. (2011). Rates and mechanisms of mineral carbonation in peridotite: natural processes and recipes for enhanced, in situ CO<sub>2</sub> capture and storage, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 39, 545-576.  
 Kelemen, P. B., McQueen, N., Wilcox, J., Renforth, P., Dipple, G., Vankeuren, A. P. (2020). Engineered carbon mineralization in ultramafic rocks for CO<sub>2</sub> removal from air: Review and new insights, Chemical Geology, 550, 119628.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1098481

- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66(20).
- Ketzer J.M., Iglesias R.S., Einloft S. (2012). Reducing Greenhouse Gas Emissions with CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage, In: Chen WY., Seiner J., Suzuki T., Lackner M. (eds) Handbook of Climate Change Mitigation. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7991-9\\_37](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7991-9_37)
- Kwak, J. H., Hu, J. Z., Hoyt, D. W., Sears, J. A., Wang, C., Rosso, K. M., Felmy, A. R. (2010). Metal carbonation of forsterite in supercritical CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O using solid state <sup>29</sup>Si, <sup>13</sup>C NMR spectroscopy, The Journal of Physical Chemistry C, 114(9), 4126-4134.
- Metz, B., Davidson, O., De Coninck, H. (Eds.). (2005). Carbon dioxide capture and storage: special report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press.
- Park, A. H. A., Fan, L. S. (2004). CO<sub>2</sub> mineral sequestration: physically activated dissolution of serpentine and pH swing process, Chemical Engineering Science, 59(22-23), 5241-5247.
- Pires, J. C. M., Martins, F. G., Alvim-Ferraz, M. C. M., & Simões, M. (2011). Recent developments on carbon capture and storage: an overview. Chemical engineering research and design, 89(9), 1446-1460.
- Robertson, A. H. (2002). Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. Lithos, 65(1-2), 1-67.
- Sarifakioğlu, E., Özen, H., Winchester, J. A. (2009). Whole rock and mineral chemistry of ultramafic-mafic cumulates from the Orhaneli (Bursa) ophiolite, NW Anatolia. Turkish Journal of Earth Sciences, 18(1), 55-83.
- Uysal, I., Akmaz, R. M., Kapsiotis, A., Demir, Y., Saka, S., Aycı, E., & Mueller, D. (2015). Genesis and geodynamic significance of chromitites from the Orhaneli and Harmancık ophiolites (Bursa, NW Turkey) as evidenced by mineralogical and compositional data. Ore Geology Reviews, 65, 26-41.
- Ündül, Ö., ve Tuğrul, A. (2012). The influence of weathering on the engineering properties of dunites. Rock Mechanics and Rock Engineering, 45(2), 225-239.

## Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde Toksoplazmozis Sıklığının Real-Time PZR ile Belirlenmesi

Muhammet Karakavuk<sup>1,2\*</sup>, Hüseyin Can<sup>3</sup>, Aysu Değirmenci Döşkaya<sup>1</sup>, Adnan Yüksel Gürüz<sup>1</sup>, Mert Döşkaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Parazitoloji Anabilim Dalı, Bornova, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Ödemiş Meslek Yüksekokulu, Ödemiş, İzmir, Türkiye

<sup>3</sup>Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı, Bornova, Türkiye

\*mkarakavuk@gmail.com<sup>ID</sup>, huseyin.can@ege.edu.tr<sup>ID</sup>, aysu.degirmenci.doskaya@ege.edu.tr<sup>ID</sup>,

yuksel.guruz@ege.edu.tr<sup>ID</sup>, mert.doskaya@ege.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 05.04.2022, Makale kabul tarihi: 28.04.2022

### Öz

*Toxoplasma gondii* insan ve sıcakkanlı hayvanları enfekte edebilen zoonotik protozoon bir parazittir. Bu çalışmada çeşitli hasta gruplarından alınmış klinik örneklerde toksoplazmozis sıklığının araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında 2009-2019 yılları arasında Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Parazitoloji Anabilim Dalı Moleküler Parazitoloji laboratuvarına gönderilen ağırlıklı olarak amniyon sıvısı, kan ve beyin omurilik sıvısı örneklerinin dahil olduğu toplam 535 klinik örnek değerlendirilmiştir. Bu örneklerde DNA izolasyonu sonrası *T. gondii* RE geni varlığı Real-Time PZR ile araştırılmıştır.

Belirtilen zaman aralığında toksoplazmozis sıklığı %2,61 (14/535) olarak tespit edilmiştir. Hastalığın direkt etkilediği merkezî organlardan alınan örneklerde pozitiflik oranı %5,40 (8/148) iken periferden alınan örneklerde pozitiflik oranı %1,74 (5/286) olarak tespit edilmiş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $P<0,05$ ). İmmünyüpresif hastalarda ise hastalığın pozitiflik oranı daha yüksek olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $P>0,05$ ).

Elde edilen bulgular toksoplazmozis tanısında Real-Time PZR yönteminin oldukça önemli bir yeri olduğunu göstermektedir. Ayrıca, örnek alım yöntemlerinin hastalığın tanısında oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Toxoplasma gondii*, toksoplazmozis, RT-PZR, RE geni

## Determination of Toxoplasmosis Frequency by Real-Time PCR in Ege University Medical Faculty Hospital

### Abstract

*Toxoplasma gondii* is a zoonotic protozoan parasite that can infect humans and warm-blooded animals. In this study, it was aimed to investigate the frequency of toxoplasmosis in clinical samples taken from various patient groups.

Within the scope of the study, a total of 535 clinical samples, including mainly amniotic fluid, blood and cerebrospinal fluid samples, which were sent to the Molecular Parasitology laboratory of Ege University Faculty of Medicine, Department of Parasitology between 2009 and 2019, were evaluated.

The frequency of toxoplasmosis was determined as 2.61% (14/535) in the specified time period. While the positivity rate was 5.40% (8/148) in the samples taken from the central organs directly affected by the disease, the positivity rate was 1.74% (5/286) in the samples taken from the periphery, and this difference was statistically significant ( $P<0.05$ ). Although the positivity rate of the disease was higher in immunosuppressive patients, no statistically significant difference was found ( $P>0.05$ ).

The findings show that Real-Time PCR method has a very important place in the diagnosis of active toxoplasmosis. In addition, it was concluded that sampling methods are very important in the diagnosis of the disease.

**Keywords:** *Toxoplasma gondii*, toxoplasmosis, RT-PCR, RE gene



## GİRİŞ

*Toxoplasma gondii* insanlar ve hayvanları enfekte edebilme özelliğine sahip tıbbi ve veteriner önemi yüksek zorunlu hücre içi protozoon bir parazittir (Dubey ve ark., 1970; Karakavuk ve ark., 2018). İnsanlar sıklıkla, bradizoit içeren doku kistleri ile enfekte koyun, keçi ve sığır etlerini çiğ veya az pişmiş olarak tüketerek, sporlu ookistlerle kontamine gıdaların tüketimi yanında kontamine suların içilmesi ya da transplasental yolla enfekte olmaktadır (Kim ve Weiss, 2004). Yapılan çalışmalarda, dünyada insan nüfusunun 1/3'ünün *T. gondii* ile enfekte olduğu gösterilmiş, ayrıca seroprevalansın farklı coğrafik bölgeler arasında büyük değişiklikler bulunduğu saptanmıştır (Karakavuk ve ark., 2021; Salant ve ark., 2010). Toplumlar arası seroprevalans farklılıklarının beslenme alışkanlıklarına, toprak ve kedi dışkı ile temas ve kişisel hijyene bağlı olduğu belirtilmektedir (Robert-Gangneux ve Dardé, 2012). Dünyada 500 milyon insanın, Avrupa'da doğurgan yaştaki kadınların %37 ile %58'nin *T. gondii* ile enfekte olduğu belirtilmiştir (Harma ve ark., 2004; Holland, 2003). Türkiye'de yapılan çalışmalarda ise seroprevalansın %30 ile %60 arasında olduğu ortaya konulmuştur (Celik ve ark., 2008; Ertug ve ark., 2005; Sert ve ark., 2019; Tekay ve Özbek, 2007).

Toksoplazmozis sırasında tanısız yaklaşım hastanın immün durumuna ve gebe olup olmadığına göre değişmektedir. Tanı biyolojik, histolojik, serolojik ve moleküler yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Son yıllarda tanıda en sık serolojik ve moleküler tanı yöntemleri kullanılmaktadır (Robert-Gangneux ve Dardé, 2012). Toksoplazmozis tanısında *T. gondii*'ye özgü antikorların serolojik yöntemlerle saptanması başlıca tanı yöntemidir. Serolojik tanıda birçok test kullanılmaktadır. Testlerin fazla olmasının nedeni etkene özgü antikorların sağlıklı kişilerde uzun süre yüksek titrede seyretmesine ve bu testlerin erken dönemde toksoplazmozis tanısını sağlayamamasındandır. Bundan dolayı toksoplazmozisin serolojik tanısında kullanılan testlerin yanlış pozitif veya negatif sonuç vermesini engellemek için birden fazla yöntemin beraber kullanılması tavsiye edilmektedir. Toksoplazmozisin erken tanısını tek başına sağlayabilecek serolojik test bulunmamaktadır (Montoya ve Liesenfeld, 2004).

Aktif enfeksiyonların yanı sıra konjenital toksoplazmozis, toksoplazmik retinokoroidit, organ

nakli alıcıları ve AIDS hastalarında kesin tanı için direk tanı yöntemleri serolojik tanıdan önde gelmektedir. Direk tanı yöntemlerinden *in vivo/in vitro* izolasyon, histolojik tanı ve PZR yöntemleri etkenin kendisi ya da DNA'sının gösterilmesi için kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden PZR testinin duyarlılık/özgüllüğü yüksek olması yanında hızlı, kolay, ucuz olmasından dolayı bu hastalara PZR testinin yapılması gerektiği bildirilmiştir (Remington ve ark., 2004). *T. gondii* DNA'sının belirlenmesinde, hedef gen olarak en sık B1 ve RE genleri kullanılmaktadır (Robert-Gangneux ve Dardé, 2012). Bu gen bölgelerinin *T. gondii* genomu içinde moleküler tanı için yeterli miktarda tekrar ettiği ve bu nedenle yüksek duyarlılık ve özgünlüğe sahip olduğu bildirilmiştir (M. Döşkaya ve ark., 2019; Karakavuk ve ark., 2022).

Bu çalışmada 2009-2019 yılları arasında farklı hasta gruplarından toplanmış amniyon sıvısı, kan, beyin omurilik sıvısı, BAL, göz sıvısı, lenf bezi ve doku örneklerinde toksoplazmozis sıklığının Real-Time PZR (RT-PZR) ile araştırılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Örnekler

2009-2019 yılları arasında Moleküler Parazitoloji laboratuvarına gönderilen 535 örnekte (249 kadın ve 286 erkek) *T. gondii* RE geni (GenBank numarası:AF146527) RT-PZR ile araştırılmıştır. 6 göz sıvısı, 282 kan, 101 amniyon sıvısı, 9 lenf bezi, 4 bronko alveolar lavaj sıvısı (BAL), 97 beyin omurilik sıvısı (BOS) ve 36 doku örneği çalışma grubunu oluşturmaktadır. Bu çalışma, Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu onayları ile gerçekleştirilmiştir. (Karar numaraları: 13-3/3; 18-5.1/29).

### Örneklerin işlenmesi ve DNA ekstraksiyonları

Tüm DNA ekstraksiyonları QIAamp DNA mini kit (Qiagen, Almanya) kullanılarak üretici firmanın protokolüne göre küçük modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir (Karakavuk ve ark., 2017).

Kan örnekleri 3000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilerek elde edilen bufy-coat ile DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. BOS ve göz sıvı örneklerinden direk DNA ekstraksiyonu yapılmıştır. Kısaca 500 µl bufy-coat örneği içerisine 50 µl proteinaz K ilave edilmiştir. Sonrasında 500 µl lizis solüsyonu (Buffer

AL) eklenip 15 sn vortekslenmiş ve bir kısa santirifüj yapılarak 70 °C' de 10 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra 500 µl %96 etil alkol eklenerek 15 sn vorteks sonrasında kısa santrifüj yapılmıştır. Tüm sıvı, kite ait filtreli tüplere eklenerek 10000 rpm'de 1 dakika santifüj edilmiştir. Sonrasında filtreler yıkama solüsyonu 1 ve 2 (Buffer AW1 ve AW2) ile ikişer kez sırasıyla yıkanmıştır. Son olarak örneklere 500 µl elüsyon solüsyonu (Buffer AE) eklenmiş ve 1 dakika oda sıcaklığında beklendikten sonra 10000 rpm'de 1 dakika santrifüj edilerek elde edilen DNA'lar RT-PZR yapılarına kadar -20 °C' de saklanmıştır.

Lenf bezi ve diğer doku örnekleri steril bir bistrü yardımıyla küçük parçalara ayrılarak 200 µl buffer ATL, 50 µl proteinaz K, 150 µg zirkonyum boncuk (2.0 mm) ve 50 µg cam boncuk (0.1 mm) (BioSpec Products) eklenerek termomikserde (Lab4You) 1400 rpm'de 56 °C' de gece boyu inkübe edilmiştir. Daha sonra erimiş doku üzerine 200 µl buffer AL eklenerek vortekslenmiş ve 10 dakika 70 °C' de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası 200 µl %96'lık etil alkol eklenerek 15 sn vorteks sonrasında kısa santrifüj yapılmıştır. Daha sonra kan örneklerinde uygulanan protokol takip edilmiştir.

Amniyon sıvısı örneklerinden DNA ekstraksiyonu sırasında 10 ml amniyon sıvısı kullanılmıştır. Öncelikle 6 ml amniyon sıvısı 3000 rpm'de 15 dakika santirifüj edilerek 4 ml üst sıvı atılmıştır. Kalan sıvı üzerine 4 ml daha amniyon sıvısı eklenerek 6 ml örnek ile DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. 6 ml örnek üzerine 50 µl proteinaz K ilave edilmiştir. Daha sonra kan örneklerinde uygulanan protokol takip edilmiştir.

8-10 ml BAL sıvısı 3000 g'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Üst sıvı 500 µl kalana kadar atılmış ve kalan sıvı ile pellet homojenize edilmiştir. Balgam örneklerinde ise 500 µl örnek ile ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan örneklerin üzerine 0,1 mm cam bead, 2 mm zirkonyum bead (BioSpecProducts) ve 50 µl proteinaz K eklenerek termo-mikserde (Lab4You) 1400 rpm'de, 55 °C' de 15 dakika tutulmuştur. Daha sonra 95 °C' de inkübe edilmiştir. İnkübasyon periyotlarından sonra 2 dakika sabit vorteks cihazında (Distribütör Genie, Scientific Industries) vortekslenmiştir. Takibinde her örnek kısa santrifüj yapıldıktan sonra tüplerdeki karışım 2 ml'lik ependorf tüplere alınmıştır. Daha sonra kan örneklerinde uygulanan protokol takip edilmiştir.

### Real-Time PZR

*Toxoplasma gondii* RE geni içerisinde 134 baz çifti büyüklüğündeki bölgeyi (Genbank erişim no: AF146527) hedefleyen RT-PZR reaksiyonu daha önce tarif edildiği gibi gerçekleştirilmiştir (M. Döşkaya ve ark., 2019). Analiz sonuçları LightCycler Real Time cihazı ile LightCycler programı versiyon 3.5 ile üretici protokollerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Roche). 134 bç' lik fragmenti amplifiye etmek için 5'-AGGCGAGGGTGAGGATGA-3' forward ve 5'-TCGTCTCGTCTGGATCGCAT-3' reverse primerleri kullanılmıştır. Hibridizasyon problemleri 5'-Red-640-CTCTCGTCTGCCAACCACG-phosphate-3' ve 5'-GCCGGAACATCTTCTCCCTCTCC-fluorescein-3' olacak şekilde tasarlanmıştır. 20 µl' lik reaksiyon karışımı, 5 µl kalıp DNA veya kontroller, 1xFastStart mix (Roche), 5 mmol MgCl<sub>2</sub>, 0,5 µmol Red-640 bağlı prob, 0,1 µmol fluorescein bağlı prob ve 5 µmol primer çiftleri içermektedir. Amplifikasyon koşulları 10 dakika 95 °C ilk denatürasyondan sonra 5 sn 95 °C, 30 sn 60 °C ve 15 sn 72°C 50 döngü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

### İstatiksel Analiz

Elde edilen veriler Microsoft Excel 2016 ile işlenmiş ve istatistiksel analizler GraphPad Prism 6 (San Diego, CA) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İmmun sistemin *T. gondii* pozitifliği üzerine etkisi Fisher'in ki-kare testi kullanılarak değerlendirilmiştir.  $P < 0,05$  değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

*T. gondii* RE geninin RT-PZR ile araştırılması sonucunda toksoplazmozis sıklığı %2,61 (14/535) olarak tespit edilmiştir. Çalışılan örneklerde pozitiflik oranı göz sıvısı örneklerinde %16,66 (1/6), periferik kan örneklerinde %1,77 (5/282), amniyon sıvısında %0,99 (1/101), lenf bezi örneklerinde %22,22 (2/9), BOS örneklerinde %2,06 (2/97), doku örneklerinde %8,33 (3/36) olarak tespit edilirken BAL/balgam örneklerinde pozitiflik saptanmamıştır (Tablo 1). Hastalığın direk etkilediği merkezi organlardan (BOS, göz sıvısı, lenf bezi, doku) alınan örneklerde pozitiflik oranı %5,40 (8/148) iken periferden alınan örneklerde (Periferik kan, BAL/Balgam) ise %1,74 (5/286) olarak tespit edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmıştır ( $P < 0,05$ ).

İmmünesüpresif hastalarda *T. gondii* sıklığı %5,26 (3/57) olarak tespit edilmiştir. İmmün sistemi sağlam hastalarda ise sıklığı %2,30 (11/478) olarak bulunmuştur. İmmünesüpresif hastalarda hastalığın pozitiflik oranı daha yüksek olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $P>0,05$ ) (Tablo 2).

Son olarak kadınlarda hastalığın sıklığı %2,81 (7/289) iken erkeklerde %2,44 (7/286) olarak tespit edilmiştir. Kadınlarda sıklık daha yüksek tespit edilmesine rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $P>0,05$ ).

*T. gondii* tıbbi ve veteriner önemi yüksek olup tüm sıcakkanlı canlıları enfekte edilebildiği düşünülen protozoon bir parazittir. Hastalık sağlıklı insanlarda genellikle klinik bulgu göstermezken immün sistemi baskılanmış hastalarda ölüme kadar varabilen ciddi klinik bulgular oluşturmaktadır. Ayrıca hastalık hamilelerde bebeğe geçerek konjental toksoplazmozise neden olarak abort veya malformasyonlara neden olabilmektedir (Robert-Gangneux ve Dardé, 2012). Tüm bu nedenlerden dolayı aktif toksoplazmozisin RT-PZR ile tanısı oldukça önemlidir.

*Toxoplasma gondii*'nin PZR ile tanısında *in house* ve ticari RT-PZR testleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan *in house* RT-PZR test ile ticari RT-PZR tanı kitinin (TIBMolBiol) karşılaştırıldığı bir çalışmada 38 şüpheli örnek kullanılmıştır. Ticari kit referans test olarak kullanıldığında *in house* RT-PZR testinin duyarlılığı %87,5, özgüllüğü %100 olarak tespit edilirken *in house* RT-PZR referans test olarak değerlendirildiğinde ticari RT-PZR kitinin duyarlılığı %100, özgüllüğü %96,8 olarak bulunmuştur (Döşkaya ve ark., 2019).

*T. gondii* B1 ve RE genleri gom içerisinde yüksek kopya sayısına sahip olduğu için hastalığın moleküler tanısında en çok kullanılan gen bölgeleridir (Costa & Bretagne, 2012; M. Döşkaya ve ark., 2019; Homan, Vercammen, Braekeleer, & Verschueren, 2000). Yapılan çalışmalarda *T. gondii* RE geninin B1 genine göre daha yüksek hassasiyete sahip olduğu ortaya konmuştur (Belaz ve ark., 2015; Filisetti ve ark., 2015). Ancak Doğu Afrika'da yapılan bir çalışmada *T. gondii* pozitifliği bilinen örneklerde B1 geni ile gerçekleştirilen RT-PZR' da tüm pozitif örnekler uyumlu iken RE geni ile gerçekleştirilen RT-PZR ile 3 pozitif örnek hatalı negatif sonuç vermiştir. Bunun nedeni olarak Afrika genotiplerinde RE geninin 275. pozisyonundaki G/C

varyasyonunun RT-PZR sonuçlarını etkileyebileceği düşünülmüştür (Wahab ve ark., 2010).

Dünyada yapılan toksoplazmozisin PZR ile araştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Brezilya'da yapılan bir çalışmada IgM pozitif (n=35), IgG pozitif (n=110 ve seronegatif kişilerin (n=38) periferik kan örneklerinde toksoplazmozis tanısı RT-PZR ile araştırılmıştır. Çalışma sonucunda IgM pozitiflerde %48,6 (17/35), IgG pozitiflerde %3,6 (4/110) ve seronegatiflerde ise %7,9 (3/38) *T. gondii* B1 geni pozitifliği saptanmıştır (Kompalic-Cristo ve ark., 2007). İran'da spontan abort yapan kadınlarda yapılan diğer çalışmada plesanta dokularından DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve nested-PZR ile RE geni varlığı araştırılıp %14,5 (48/330) pozitiflik saptanmıştır (Maani ve ark., 2021).

Türkiye'de sınırlı sayıda insanlarda *T. gondii* moleküler tanı çalışması bulunmaktadır. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesinde yapılan bir çalışmada 13-18 haftalık hamile olan 300 kişiden amniyon sıvısı alınarak B1 genini hedefleyen ticari bir kit ile RT-PZR testi ile *T. gondii* pozitifliği araştırılmıştır. 300 örneğin B1 genini hedefleyen RT-PZR sonucunda 4 örnek (%1,3) pozitif olarak bulunmuştur (Günel ve ark., 2012). Kocaeli'nde yapılan bir diğer çalışmada 170 allojenik kök hücre nakli hastasında serebral toksoplazmozis manyetik rezonans ve BOS kullanılarak gerçekleştirilen RT-PZR ile araştırılmıştır. 170 örneğin çalışılması sonrasında *T. gondii* açısından 4 örnek pozitif olarak saptanmıştır (Hakko, Ozkan, Karaman, & Gulbas, 2013). Karaciğer transplantasyonu hastalarında yapılan diğer bir çalışmada 40 hastadan alınan kan ve BOS örneklerinde RT-PZR ve nested-PZR ile toksoplazmozis araştırılmıştır. 4 hasta *T. gondii* pozitif saptanmıştır (Caner ve ark., 2007). Yeni doğmuş iki bebekten alınan BOS sıvılarında yapılan bir diğer çalışmada ise RT-PZR sonucunda 2 örnek pozitif olarak saptanmış ve mikrosatellit genotiplendirme yaklaşımı ile her iki örnek Afrika-1 genotipi olarak tanımlanmıştır (Döşkaya ve ark., 2013).

Bu çalışma bildiğimiz kadarıyla Türkiye'de en yüksek örnek ile çalışılan toksoplazmozis çalışmasıdır. RT-PZR ile %2,61 (14/535) oranında pozitiflik saptanmış olup bu sonuç ülkemizde yapılan diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile uyumludur. İmmün sistemi sağlam hastalarda toksoplazmozis sıklığı %2,30 (11/478) olarak tespit edilmiş, immünesüpresif hastalarda ise %5,26 (3/57)

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI: 10.29132/ijpas.1099082

olarak belirlenmiştir. Hastalık immun sistemi zayıf olanlarda daha yüksek saptanmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu sonuçlar immun sistemi sağlam olanlarda da toksoplazmozis riski bulunduğunu göstermektedir. Diğer taraftan hastalığın direk etkilediği merkezi organlardan (BOS, göz sıvısı, lenf bezi, doku) alınan örneklerde pozitiflik oranı %5,40 (8/148) iken

periferden alınan örneklerde (Periferik kan, BAL/Balgam) ise %1,74 (5/286) olarak tespit edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmıştır ( $P<0,05$ ). Bu sebeple *T. gondii* PZR tanısında merkezi organlardan alınan örneklerin periferden alınan örneklerle göre daha değerli olduğu düşünülmüştür.

**Tablo 1.** Örnek alım yöntemine göre *T. gondii* prevalansı

Örnekler	Örnek Sayısı	Pozitif Sayısı	%
Göz sıvısı	6	1	16,66
Periferik Kan	282	5	1,77
Amnion sıvısı	101	1	0,99
Lenf bezi	9	2	22,22
BAL/balgam	4	0	0
BOS	97	2	2,06
Doku	36	3	8,33
<b>Toplam</b>	<b>535</b>	<b>14</b>	<b>2,61</b>

**Tablo 2:** İmmunite durumuna göre *T. gondii* prevalansı

	Örnek sayısı	Pozitif sayısı	%
HIV+	28	2	7,14
Diğer immunsupresif	29	1	3,44
<b>Toplam immunsupresif hasta</b>	<b>57</b>	<b>3</b>	<b>5,26</b>
<b>İmmun sistemi sağlam</b>	<b>478</b>	<b>11</b>	<b>2,30</b>
<b>Toplam</b>	<b>535</b>	<b>14</b>	<b>2,61</b>

## SONUÇLAR

Sonuç olarak bu çalışma büyük bir örnek sayısı ile geniş zaman aralığında yapılmış Türkiye'deki ilk kapsamlı çalışmadır. Elde edilen bulgular *T. gondii* enfeksiyonunun immunsupresif hastalar kadar immun sistemi sağlam bireylerde de görülebileceğini göstermiştir. Ayrıca örnek alım yöntemlerinin toksoplazmozis tanısında önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 13-TIP-050 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/ Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI: 10.29132/ijpas.1099082

## KAYNAKLAR

- Belaz, S., Gangneux, J. P., Dupretz, P., Guiguen, C., & Robert-Gangneux, F. (2015). A 10-year retrospective comparison of two target sequences, REP-529 and B1, for *Toxoplasma gondii* detection by quantitative PCR. *Journal of Clinical Microbiology*, 53(4), 1294–1300. <https://doi.org/10.1128/JCM.02900-14>
- Caner, A., Döşkaya, M., Karasu, Z., Değirmenci, A., Guy, E., Kılıç, M., ... Gürüz, Y. (2007). Incidence and Diagnosis of Active *Toxoplasma* Infection Among Liver Transplant Recipients in Western Turkey. *Liver Transplantation*, 13(5), 767–768. <https://doi.org/10.1002/lt>
- Celik, T., Karaman, U., Celebi, B., Turan, A., Babur, C., & Daldal, N. (2008). Evaluation of the municipality dustmen in terms of toxoplasmosis and listeriosis seropozitivity in Malatya. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 65(2), 81–85.
- Costa, J. M., & Bretagne, S. (2012). Variation of B1 gene and AF146527 repeat element copy numbers according to *Toxoplasma gondii* strains assessed using real-time quantitative PCR. *Journal of Clinical Microbiology*, 50(4), 1452–1454. <https://doi.org/10.1128/JCM.06514-11>
- Döşkaya, M., Pullukçu, H., Karakavuk, M., Şahar, E. A., Taşbakan, M. S., Taşbakan, M. I., ... Gürüz, A. Y. (2019). Comparison of an in house and a commercial real-time polymerase chain reaction targeting *Toxoplasma gondii* RE gene using various samples collected from patients in Turkey. *BMC Infectious Diseases*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4666-z>
- Döşkaya, Mert, Caner, A., Ajzenberg, D., Değirmenci, A., Dardé, M. L., Can, H., ... Gürüz, Y. (2013). Isolation of *Toxoplasma gondii* strains similar to Africa 1 genotype in Turkey. *Parasitology International*, 62(5), 471–474. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2013.06.008>
- Dubey, J. ., Miller, N. ., & J.K, F. (1970). The *Toxoplasma gondii* oocyst from cat feces. *J Exp Med*, 132(4), 636–662.
- Ertug, S., Okyay, P., Turkmen, M., & Yuksel, H. (2005). Seroprevalence and risk factors for toxoplasma infection among pregnant women in Aydin province, Turkey. *BMC Public Health*, 5, 1–6. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-5-66>
- Filisetti, D., Sterkers, Y., Brenier-Pinchart, M. P., Cassaing, S., Dalle, F., Delhaes, L., ... Bastien, P. (2015). Multicentric Comparative assessment of the bio-evolution *Toxoplasma gondii* detection kit with eight laboratory-developed PCR assays for molecular diagnosis of congenital toxoplasmosis. *Journal of Clinical Microbiology*, 53(1), 29–34. <https://doi.org/10.1128/JCM.01913-14>
- Gunel, T., Kalelioglu, I., Ermis, H., Has, R., & Aydinli, K. (2012). Large scale pre-diagnosis of *Toxoplasma gondii* DNA genotyping by real-time PCR on amniotic fluid. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 26(2), 2913–2915. <https://doi.org/10.5504/bbeq.2011.0106>
- Hakko, E., Ozkan, H. A., Karaman, K., & Gulbas, Z. (2013). Analysis of cerebral toxoplasmosis in a series of 170 allogeneic hematopoietic stem cell transplant patients. *Transplant Infectious Disease*, 15(6), 575–580. <https://doi.org/10.1111/tid.12138>
- Harma, M., Harma, M., Güngen, N., & Demir, N. (2004). Toxoplasmosis in pregnant women in Şanlıurfa, Southeastern Anatolia City, Turkey. *Journal of Egyptian Society for Parasitology*, 34, 519–525.
- Holland, G. N. (2003). Ocular toxoplasmosis: A global reassessment. Part I: Epidemiology and course of disease. *American Journal of Ophthalmology*, 136(6), 973–988. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2003.09.040>
- Homan, W. ., Vercammen, M., Braekeleer, J. De, & Verschuere, H. (2000). Identification of a 200- to 300-fold repetitive 529 bp DNA fragment in *Toxoplasma gondii*, and its use for diagnostic and quantitative PCR. *International Journal for Parasitology*, 30(1), 69–75.
- Karakavuk, M., Aldemir, D., Mercier, A., Şahar, E. A., Can, H., Murat, J. B., ... Döşkaya, M. (2018). Prevalence of toxoplasmosis and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* strains isolated in wild birds of prey and their relation with previously isolated strains from Turkey. *PLoS ONE*, 13(4), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196159>
- Karakavuk, M., Aykur, M., Şahar, E. A., Karakuş, M., Aldemir, D., Döndüren, Ö., ... Döşkaya, M. (2017). First time identification of *Acanthamoeba* genotypes in the cornea samples of wild birds; Is *Acanthamoeba* keratitis making the predatory birds a target? *Experimental Parasitology*, 183, 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2017.08.007>
- Karakavuk, M., Can, H., Karakavuk, T., Gül, A., Alak, S. E., Gül, C., ... Döşkaya, A. D. (2022). Rapid detection of *Toxoplasma gondii* DNA in cat feces using colorimetric loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assays targeting RE and B1 genes. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 81(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2022.101745>
- Karakavuk, M., Can, H., Selim, N., Yesilsiraz, B., Atli, E., Sahar, E. A., ... Döşkaya, M. (2021). Investigation of the role of stray cats for transmission of toxoplasmosis to humans and animals living in Izmir, Turkey. *Journal of Infection in Developing*

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI: 10.29132/ijpas.1099082

- Countries, 15(1), 155–162.  
<https://doi.org/10.3855/jidc.13932>
- Kim, K., & Weiss, L. M. (2004). *Toxoplasma gondii*: The model apicomplexan. *International Journal for Parasitology*, 34(3), 423–432.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2003.12.009>
- Kompalic-Cristo, A., Frotta, C., Suárez-Mutis, M., Fernandes, O., & Britto, C. (2007). Evaluation of a real-time PCR assay based on the repetitive B1 gene for the detection of *Toxoplasma gondii* in human peripheral blood. *Parasitology Research*, 101(3), 619–625. <https://doi.org/10.1007/s00436-007-0524-9>
- Maani, S., Rezanezhad, H., Solhjoo, K., Kalantari, M., & Erfanian, S. (2021). Genetic characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from human spontaneous aborted fetuses in Jahrom, southern Iran. *Microbial Pathogenesis*, 161(PA), 105217.  
<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105217>
- Montoya, J., & Liesenfeld, O. (2004). Toxoplasmosis. *Lancet*, 363, 1965–1976.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-04622007000200009>
- Remington, J. S., Thulliez, P., & Montoya, J. G. (2004). Recent Developments for Diagnosis of Toxoplasmosis. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(3), 941–945.  
<https://doi.org/10.1128/JCM.42.3.941-945.2004>
- Robert-Gangneux, F., & Dardé, M. L. (2012). Epidemiology of and diagnostic strategies for toxoplasmosis. *Clinical Microbiology Reviews*, 25(2), 264–296.  
<https://doi.org/10.1128/CMR.05013-11>
- Salant, H., Spira, D. T., & Hamburger, J. (2010). A comparative analysis of coprologic diagnostic methods for detection of *Toxoplasma gondii* in cats. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 82(5), 865–870.  
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.2010.09-0635>
- Sert, U. Y., Ozgu-Erdinc, A. S., Gokay, S., & Engin-Ustun, Y. (2019). *Toxoplasma* Screening Results of 84587 Pregnant Women in a Tertiary Referral Center in Turkey. *Fetal and Pediatric Pathology*, 38(4), 307–316.  
<https://doi.org/10.1080/15513815.2019.1587122>
- Tekay, F., & Özbek, E. (2007). *Çi ğ Köftenin Yayg ı n Tüketildi ğ i Ş anl ı urfa İ linde Kad ı nlarda Toxoplasma gondii Seroprevalans ı*. 31(3), 176–179.
- Wahab, T., Edvinsson, B., Palm, D., & Lindh, J. (2010). Comparison of the AF146527 and B1 repeated elements, two real-time PCR targets used for detection of *Toxoplasma gondii*. *Journal of Clinical Microbiology*, 48(2), 591–592.  
<https://doi.org/10.1128/JCM.01113-09>

## Çamlıkaya (İspir/Erzurum) Köyü Çevresinde Yüzeyleyen Kaçkar Batoliti'ne ait Granitoidlerin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri

Abdullah Sar<sup>1\*</sup>, Sevcan Kürüm<sup>2</sup>, Hao-Yang Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye,

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye,

<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan,

\*asar@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, skurum@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, haoyanglee@earth.sinica.edu.tr<sup>ID</sup>,

Makale gönderme tarihi:06.09.2021, Makale kabul tarihi: 05.02.2022

### Öz

Pontid Orojenik Kuşağı, Bulgaristan'dan başlayıp, Türkiye-Istranca Bölgesi'nden Küçük Kafkasya'ya kadar uzanan Doğu-Batı uzanımlı dağ kuşağını temsil etmektedir. İnceleme alanı Pontidler'in doğu kesiminde (Kaçkar Batoliti) Çamlıkaya köyü (İspir/Erzurum) ve çevresini kapsamaktadır. İnceleme alanında yüzeyleyen plütonik kayalar genel olarak granit ve granodiyoritler ile temsil edilmektedir. İncelenen kayalar, bileşimsel olarak kalkalkalen'den şošonitiğe değişen karakterde ve I-tipi granit özelliğindedir. İlksel mantoya göre normalize edilmiş iz element diyagramlarında, Rb, K, Th, Ba gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerde zenginleşme olduğu, Nb, Ti, P ve Ta gibi yüksek alan enerjili elementlerde ise fakirleşme olduğu görülmektedir. Granitik kayalarda gözlenen negatif Nb anomalisi yitimle ilişkili magmaların karakteristik özelliğidir. Kondrite göre normalize edilmiş iz element diyagramlarında, hafif nadir toprak elementleri, ağır nadir toprak elementlerine göre daha fazla zenginleşme göstermektedir. Negatif Eu anomalileri görülmektedir. Yüksek Rb/Sr, Nb/Ta, Zr/Hf, Th/U, Th/Ta ve düşük Nb/La gibi iz element oranları bu kayaların oluşumunda kabuksal kirlenmenin etkin rol oynadığını göstermektedir. İnceleme konusunu oluşturan kayalar tektonik ayırtlama diyagramlarında volkanik yay ve çarpışma sonrası bölge alanlarına düşmektedir.

**Keywords:** Çamlıkaya- İspir/Erzurum, Doğu Pontidler, Kaçkar Batoliti, Tüm kayaç jeokimyası

## Petrographic and Geochemical Characteristics of Granitoids of the Kaçkar Batholith Outcropping Around Çamlıkaya (İspir/Erzurum) Region

### Abstarct

Pontid Orogenic Belt, starting from Bulgaria, Turkey-Istranca region extending from the Caucasus represents the East-West trending mountain belt. The study area covers Çamlıkaya village (İspir/Erzurum) and its surroundings in the eastern part of the Pontides (Kaçkar Batholith). Plutonic rocks cropping out in the study area are generally represented by granites and granodiorites. The rocks studied are compositionally varying from calc-alkaline to shoshonitic and have the characteristics of I-type granite. In trace element diagrams normalized to the primary mantle, it is seen that there is enrichment in elements with large ion lithophile elements such as Rb, K, Th, Ba, and depletion in elements with high field strength elements such as Nb, Ti, P and Ta. Negative Nb anomaly observed in granitic rocks is characteristic of subduction-related magmas. In trace element diagrams normalized to chondrite, light rare earth elements show more enrichment than heavy rare earth elements. Negative Eu anomalies are seen. High trace element ratios such as Rb/Sr, Nb/Ta, Zr/Hf, Th/U, Th/Ta and low Nb/La indicate that crustal contamination plays an active role in the formation of these rocks. The studied rocks fall into the volcanic arc and post-collisional zone areas in the tectonic distinction diagrams.

**Anahtar Kelimeler:** Çamlıkaya- İspir/Erzurum, Eastern Pontides, Kaçkar Batholite, Whole rock geochemistry

### GİRİŞ

Türkiye ana karası, Ketin (1966) tarafından Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak dört tektonik bloğa ayrılmaktadır. Pontid

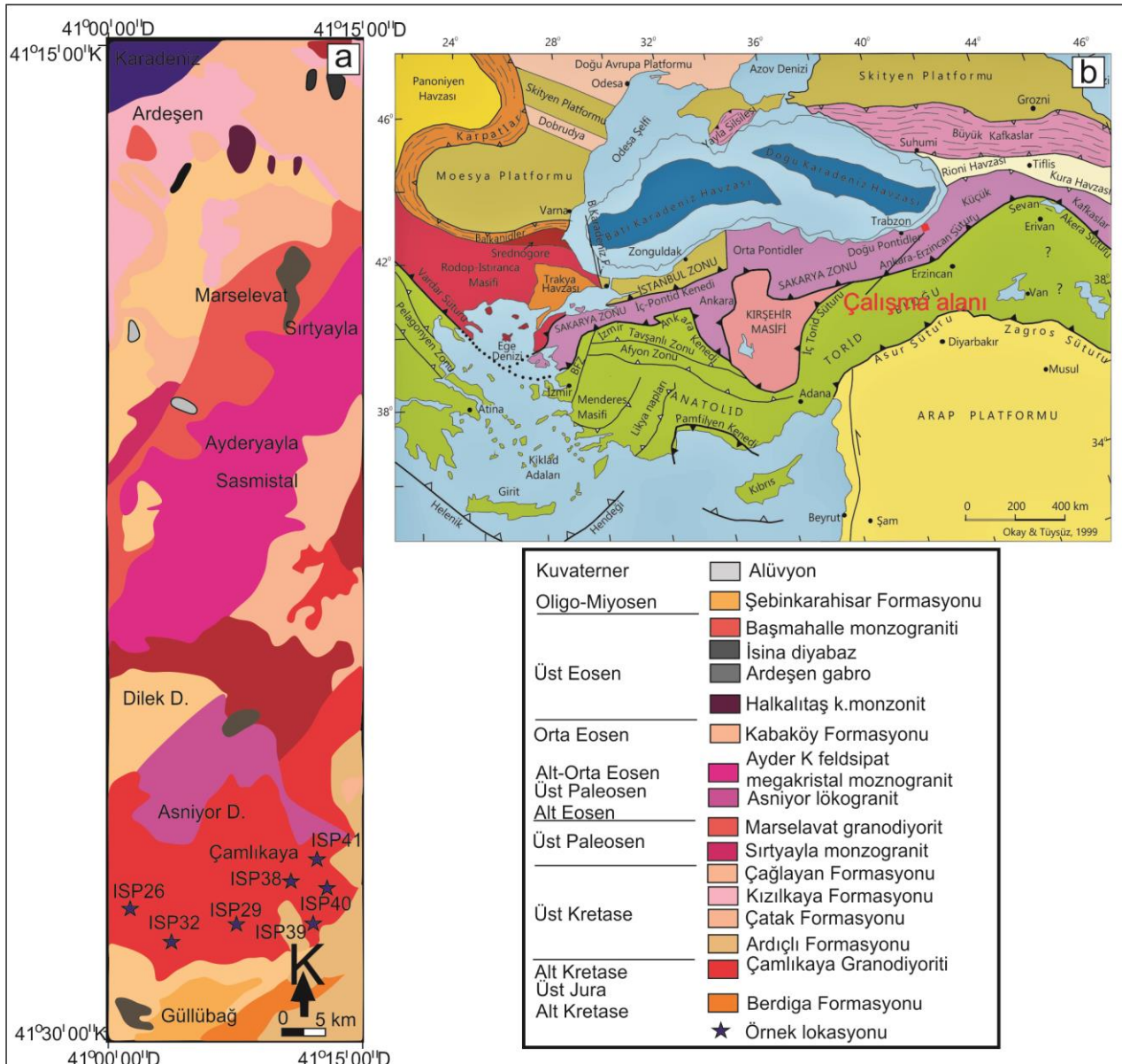
Orojenik Kuşağı Şekil 1'de görüldüğü üzere Bulgaristan'dan başlayıp, Türkiye-Istranca Bölgesi'nden Küçük Kafkasya'ya kadar uzanan

Araştırma makalesi/Research article  
DOI:10.29132/ijpas.991777

ortalama 1.200 km uzunluğunda, Doğu-Batı uzanımlı dağ kuşağını temsil etmektedir. Bu kuşak, İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu ile güneydeki Orta Anadolu Kristalin Kompleksi ve Torid-Anatolid Bloklarından ayrılmaktadır (Cavazza ve Wezel, 2003; Okay 2008; Robertson ve ark., 2013).

Türkiye'nin kuzeyindeki Pontid tektonik kuşağı, Jura öncesi temele dayanan, Batı, Merkez ve

Doğu Pontidler olmak üzere üç farklı segmente ayrılmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve ark., 1997; Ustaömer ve Robertson, 1997; Okay ve Şahintürk, 1997). Doğu Pontid Orojenik Kuşağı, Atlantik tip aktif kıta kenarının bir formasyonu olarak, Senoniyen'deki Avrasya Plakası altına Neo-Tetis okyanusal kabuğunun kuzeye yitimi sırasında gelişen Doğu-Batı trendli kıta kenarı bir yay



Şekil 1. a) İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Boztuğ ve ark., 2007)'den sadeleştirilerek kullanılmıştır b) Türkiye tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999)

ortamında Geç Mezozoyik-Erken Senozoyik Ustaömer ve Robertson, 1997; Okay ve Şahintürk, sürecinde gelişmiştir. (Yılmaz ve ark., 1997; 1997). Bu bölgede, Doğu Karadeniz Havzası,



Araştırma makalesi/Research article  
 DOI:10.29132/ijpas.991777

Kampaniyen-Maastrichtiyen döneminde, magmatik bir yay ekseninin riftleşmesi ile açılmıştır (Yılmaz ve ark., 1997; Okay ve Şahintürk, 1997).

Neo-Tetis Okyanusu'nun kapanması, Paleosen-Erken Eosen'deki Pontid yayı ve Torid-Anatolid platformu arasında bir çarpışmaya neden olmuştur. Bu çarpışmanın etkisi Orta Eosen'e kadar devam etmiştir (Elmas, 1995; Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Yılmaz ve ark., 1997; Okay ve Şahintürk, 1997).

Pontid yayındaki, kalk-alkalen magmatik aktivite Turoniyende başlamış ve Paleojen sonuna kadar aralıklı olarak devam etmiştir. Aynı dönemde, granitik intrüzyonlar, kabuğun sığ seviyelerine yerleşmiş ve ilk olarak Rize graniti olarak adlandırılan kompozit plütonun ilk bileşenlerini şekillendirmiştir (Çoğulu, 1975; Tokel, 1995; Yılmaz ve ark., 1997).

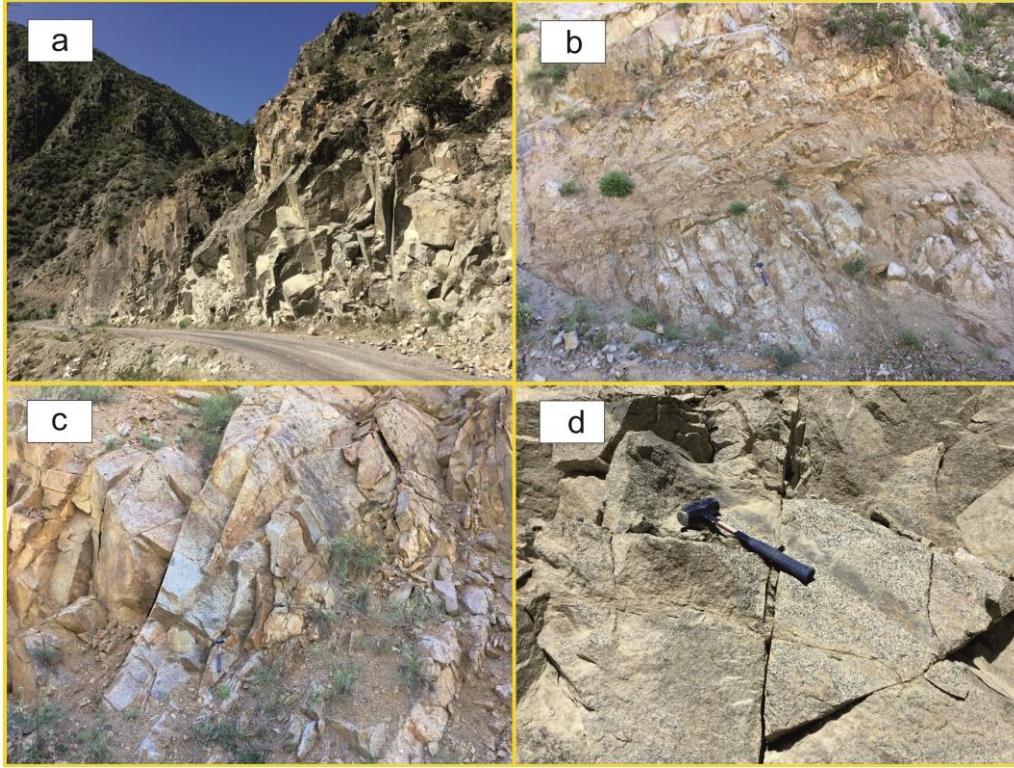
Bu çalışma ile Çamlıkaya (İspir/Erzurum) köyü çevresinde yüzeleyen Çamlıkaya plütonuna ait granitik kayaların petrografik özelliklerinin ve ana oksit, iz element içerikleri gibi tüm kayaç jeokimiyalarının belirlenerek bölgede yüzeleyen kayaların petrojenezinin ve oluşum ortamlarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

### Bölgesel Jeoloji

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda yer alan inceleme alanı içerisinde, Paleozoyik'ten Miyosen sonlarına kadar çeşitli dönemlerde gelişen magmatizma ürünlerini içeren plütonik, volkanik ve volkano-sedimanter birimler yer almaktadır. Magmatik aktivitenin duraksadığı dönemlerde ise sedimanter istifler gelişmiştir. İyi korunmuş bir kıtasal magmatik yay örneği olarak kabul edilen Doğu Pontid tektonik ünitesi (Dokuz ve ark., 2010; Eyüboğlu ve ark., 2011;), Özsayar ve ark. (1981)'e göre yaklaşık olarak Ardanuç-İspir-Reşadiye sınırı ile kuzey zon ve güney zon olmak üzere iki zona ayrılmaktadır. Buna göre, Erzurum ili İspir ilçesi çevresindeki Çamlıkaya plütonunu kapsayan inceleme alanı, ağırlıklı olarak kuzey zon üzerinde bulunmaktadır. Temel kayalarını Karbonifer granitler ve metamorfik kayaların oluşturduğu bu kuşaktaki (Delaloye ve ark., 1972; Dokuz, 2011; Okay, 1996; Okay ve Şahintürk, 1997; Topuz ve ark., 2007; Topuz ve ark., 2010) çalışma konusunu oluşturan Çamlıkaya plütonuna ait granitik kayalar,

İspir (Erzurum) bölgesinde asidik bileşimli magmatik kayalarla temsil edilmektedir. İnceleme alanında makroskobik olarak orta-iri tane boyutunda ve pembemsi renklerde gözlenmektedir (Şekil 2a). Alterasyon genel olarak düşük olmakla birlikte bazı kayalarda arenalaşmalar gözlenmektedir (Şekil 2b-d).

Boztuğ ve ark. (2006) Kaçkar Batolitinin beş farklı evrede oluştuğunu belirtmiştir. İnceleme konusunu oluşturan Alt Kretase yaşlı Çamlıkaya plütonu batolite ait en yaşlı intrüzif birimdir ve kırmızı, iri taneli kumtaşı, kumtaşı, silttaşı, marn ve kömür birimlerinden oluşan Üst Kretase yaşlı Ardıçlı Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Bölgede yaygın olarak gözlenen yay volkanik kayaları Üst Kretase yaşlı Çatak, Kızılkaya ve Çağlayan volcano-tortul formasyonlarıdır. Bu birimler denizaltı volkanik püskürme ürünlerinde oluşur ve Çamlıkaya plütonu ve Ardıçlı Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelirler (Boztuğ ve ark., 2006). İkinci evre Üst Kretase-Alt Paleosen yaşlı Sırtayla ve Marselevat granitoidleri tarafından temsil edilmektedir (Boztuğ ve ark., 2002; Boztuğ ve ark., 2006). Bu birimler Çamlıkaya plütonu ve Çağlayan Formasyonuna sokulum yaparlar. Üçüncü evre Asniyor lökogramiti ile temsil edilmektedir. Birim hem Çamlıkaya plütonunu hem de Marselevat plütonunu kesmektedir. Dördüncü evre Ayder K-feldispat megakristalli granitoididir ve Orta-Geç Eosen yaşlı Sasmistal mikrograniti tarafından temsil edilmektedir (Boztuğ ve ark., 2002; Boztuğ ve ark., 2006). Sasmistal mikrograniti genellikle K-G gidişli, küçük subvolkanik yerleşimler olarak esas olarak Ayder granitoidi içinde ve yer yer Asniyor lökogramit içinde yüzeylemektedir. Beşinci evre ise Güllübağ monzoniti ve Geç Eosen yaşlı Halkalıtış kuvars diyoriti ile temsil edilmektedir. Ardeşen gabro ve Isina diyabazı beşinci magmatic evrenin parçaları olarak düşünülmektedir (Boztuğ ve ark., 2006).



Şekil 2. (a) Çamlıkaya plütonuna ait granodiyoritlerin arazi görünümü (b-c) alterasyondan etkilenmiş granitik kayalar (d) Çamlıkaya plütonuna ait granodiyoritler.

## MATERYAL VE METOD

İnceleme alanından toplanan örneklerin petrografik incelemeler için hazırlanan ince kesitleri, Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında yapılmıştır. Alterasyondan en az etkilenen veya alterasyon içermeyen 7 adet örneğin jeokimya analizleri Ulusal Tayvan Üniversitesi (National Taiwan University) Jeoloji Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Ana oksit ölçümleri Rigaku® RIX 2000 marka alet ile X-ışınları Floresans (XRF) spektrometresi yöntemi kullanılarak, iz element analizleri ise ICP-MS (İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) yöntemi kullanılarak Agilent 7500cs Quadrupole ICP-MS markalı ölçüm aleti ile yapılmıştır. Ölçümler ~%5 varyasyon içinde bir stabilite aralığı göstermektedir. Doğruluk ve kesinlik genellikle %3'ten daha iyidir. Ana oksit ve iz element ölçümlerinde kullanılan analitik yöntemler Lin ve ark. (2012)'den takip edilmiştir.

## BULGULAR

### Petrografi

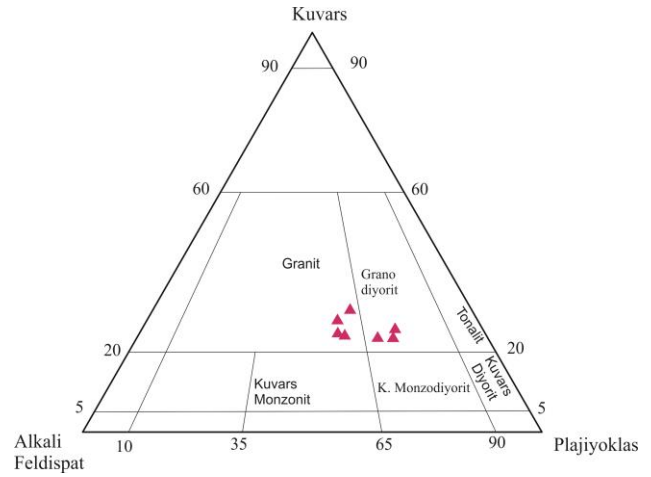
İnceleme alanında yüzeyleyen kayalar granit ve granodiyoritler ile temsil edilmektedir (Şekil 3). Granitler; makroskobik olarak pembe, pembemsi beyaz renklerde, alterasyondan etkilenmiş olan örnekler ise kahverengi tonlarında gözlenmektedir. Esas mineral olarak % 20-25 kuvars, % 35-40 plajiyoklas ve % 25-35 K-feldispat ile % 10-15 oranında mafik mineral içeriğine sahiptirler. Dokusal olarak holokristalin doku (Şekil 4a), porfirik-holokristalen doku ve poiklitik doku (Şekil 4b) görülmektedir. Kuvarslar tek nikolde şeffaf renklerde, çift nikolde düşük çift kırınım renklerine sahiptir. Plajiyoklaslar genellikle yarı özşekilli ve özşekilli formlarda ve prizmatik şekillere sahiptir. Bazı minerallerinde de zonlanma görülmektedir. Albit, albit+karlsbat ve polisentetik ikizlenmeler gözlenmektedir. Bazı kristallerde alterasyondan dolayı ikiz lamelleri net olarak görülmemektedir. K-feldispatlar tek nikolde toprağımsı renklerde, çift

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI:10.29132/ijpas.991777

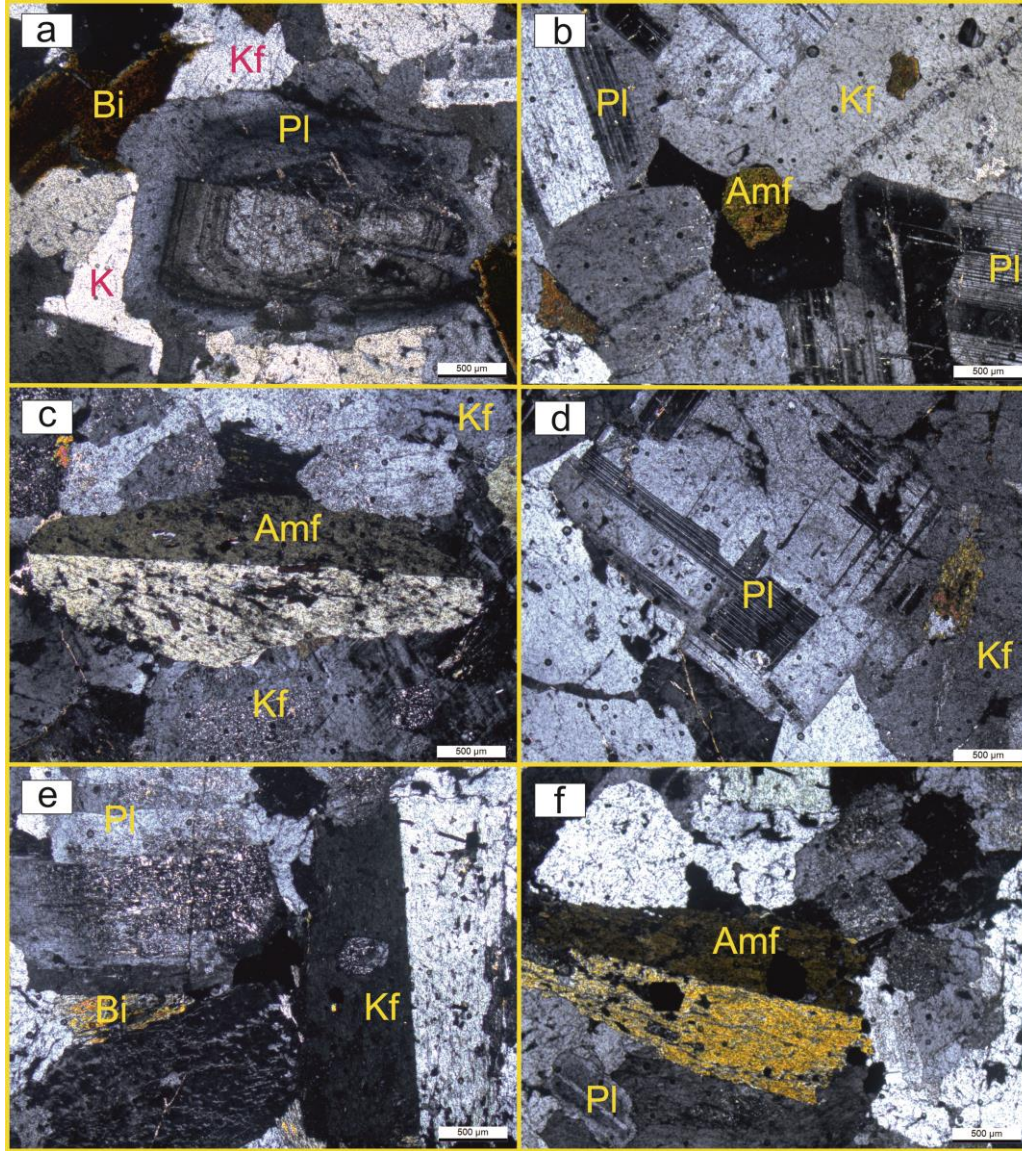
nikolde ise gri tonlarında girişim renklerine sahiptir. Bazı kristallerde, sodyumca zengin plajiyoklasların, K-feldispat kristali içerisinde çizgiler ve damarlar şeklinde büyümesiyle oluşan pertitleşmeler gözlenmektedir. K-feldispatlar içerisinde kuvars ve plajiyoklas gibi mineraller kapantılar şeklinde gözlenmekte ve bu durum poiklitik dokuları oluşturmaktadır. Mafik mineralleri genellikle biyotit ve amfiboller oluşturmaktadır. Biyotitler prizmatik-levhamsı kristaller şeklinde, çift nikelde sarı, kahverengi, yeşil, turuncu girişim renkleri ile ve tek nikelde kahverengi tonlarındaki pleokroizmaları ile karakteristiktir. Amfiboller basit ikizlenmelidir (Şekil 4c) ve tek nikelde yeşil tonlarında pleokroizma gösterirler.

Granodiyoritler; makro örneklerde grimsi, pembemsi renklerde gözlenmektedir. Bu kayalar yaklaşık % 15-20 kuvars, % 45-50 plajiyoklas ve % 15-20 K-feldispat içeriğine sahiptir. Mafik mineral oranları genel olarak düşük olmakla birlikte değişkenlik göstermektedir (% 10-15). Holokristalen doku, poiklitik doku ve porfirik-holokristalen doku gözlenmektedir. Plajiyoklaslar; genellikle prizmatik, yarı özşekilli kristaller halinde gözlenmekte olup polisentetik ikizlenmeler (Şekil 4d) göstermektedir. Tek nikelde renksiz çift nikelde gri beyaz tonlarında girişim renklerine sahiptirler. Bazı plajiyoklas kristallerinin merkez kısımlarında serizitleşme ve karbonatlaşma türü alterasyonlar gözlenmekte ve elek dokusu gözlenmektedir. Plajiyoklaslar içerisinde kuvars, plajiyoklas, biyotit ve amfibol mineralleri kapantılar şeklinde bulunmakta ve poiklitik dokuyu oluşturmaktadır. Kuvarslar genellikle değişik boyutlu ve özşekilsiz kristaller

halinde olup, deformasyon izini yansıtan dalgalı sönme gösterirler. K-feldispatlar, genellikle özşekilsiz veya yarı özşekilli kristaller halinde görülmektedir. Bazı kristallerde pertitleşmeler gözlenirken, bazı kristallerde karlsbat ikizlenmeleri gözlenmektedir (Şekil 4e). Bazı örneklerde plajiyoklas, biyotit gibi mineraller poiklitik dokuyu oluşturacak şekilde K-feldispat kristalleri içerisinde kapantı şeklinde gözlenmektedir. Biyotitler paralel sönmeleri ve tek yönde dilinimleri ile karakteristiktir. Amfiboller, basit ikizlenmeleri (Şekil 4f) ve C eksenine dik geçmiş kesitlerde özşekilli altıgen kristallerinde birbirleri ile 124° açı yapan çift yönde dilinimlere sahiptir. Kayalarda gözlenen alterasyon oranı düşükten yükseğe kadar değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3. QAP diyagramı (Streckeisen ve Le Maitre, 1979)



**Şekil 4.** Çamlıkaya plütönuna ait granitik kayaların ince kesit görüntüleri **a)** granitlerde gözlenen holokristalen doku **b)** granitlerde gözlenen poiklitik doku **c)** Amfibollerde gözlenen basit ikizlenmeler **d)** Plajiyoklaslarda gözlenen polisentetik ikizlenme **e)** K-feldispatlardaki karlsbad ikizlenmesi ve poiklitik doku **f)** basit ikizlenme gösteren amfibol minerali (Amf: Amfibol; Pl: Plajiyoklas; Kf: K-feldispat; K: Kuvars; Bi: Biyotit)

### Tüm Kayaç Jeokimyası

Erzurum ili Çamlıkaya bölgesindeki granitoidlerin majör oksit, iz element ve nadir toprak elementi analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. İnceleme konusunu oluşturan Çamlıkaya plütönuna ait kayalar Le Bas ve ark. (1986) tarafından önerilen toplam alkali-silis ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ) diyagramında (Şekil 5) granit ve granodiyorit

alanına düştüğü görülmektedir. Çamlıkaya plütönuna ait kayalar  $\text{SiO}_2$  (% 64.06–67.54),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (% 15.31–17.07),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (% 3.26–4.32),  $\text{MgO}$  (% 1.41–1.99),  $\text{CaO}$  (% 2.95–4.44)  $\text{Na}_2\text{O}$  (% 3.94–4.73),  $\text{K}_2\text{O}$  (% 1.78–2.85),  $\text{TiO}_2$  (% 0.36–0.52),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (% 0.12–0.16),  $\text{MnO}$  (0.03–0.07),  $\text{Ni}$  (7.2–12.9 ppm),  $\text{Rb}$  (25.5–62.3 ppm),  $\text{Sr}$  (349–576 ppm),  $\text{Nd}$  (11.5–19.2 ppm) arasında değişen majör oksit ve iz

**Tablo 1.** Çamlıkaya plütönuna ait granitik kayaların tüm kayaç analiz sonuçları

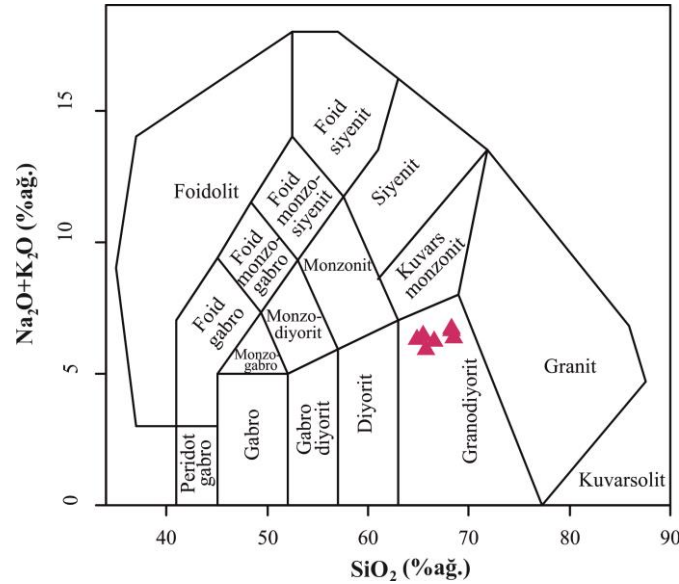
Örnek No	ISP26	ISP29	ISP32	ISP38	ISP39	ISP40	ISP41
Kayaç	Granit	Granit	Granit	Granit	Granit	Granit	Granit
SiO <sub>2</sub>	64.06	65.68	64.91	67.54	67.32	64.64	67.32
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.36	0.52	0.46	0.42	0.51	0.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.76	17.07	16.24	15.48	15.41	15.98	15.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.32	3.50	4.14	3.71	3.26	4.12	3.61
MnO	0.07	0.07	0.07	0.05	0.03	0.07	0.06
MgO	1.99	1.61	1.96	1.50	1.41	1.70	1.63
CaO	4.44	3.66	4.35	3.28	3.13	3.72	2.95
Na <sub>2</sub> O	3.99	4.73	3.98	3.92	4.24	3.94	4.11
K <sub>2</sub> O	2.58	1.78	2.22	2.70	2.64	2.77	2.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.16	0.15	0.13	0.12	0.15	0.13
Ateşte Kayıp	1.28	0.97	1.51	1.33	1.21	2.45	1.88
Toplam	98.86	99.58	100.03	100.09	99.20	100.04	100.31
P	604	611	554	432	490	593	485
Sc	11.4	13.9	9.0	13.3	7.6	20.6	10.3
V	65	38	58	54	55	60	54
Cr	35.4	19.6	29.9	26.8	29.6	29.4	26.3
Co	10.5	7.4	9.9	7.4	7.0	8.9	7.8
Ni	12.9	10.3	11.6	7.5	8.6	7.8	7.2
Cu	5.5	6.9	5.7	5.1	4.9	7.3	9.0
Zn	32	27	35	18	12	34	31
Ga	17.0	16.5	15.8	14.3	15.4	16.0	15.4
Rb	62.3	25.5	48.7	54.8	49.8	53.6	64.0
Sr	450	576	414	349	385	384	349
Y	14.0	10.0	12.7	10.6	10.9	12.9	12.4
Zr	151	131	145	140	138	146	145
Nb	10.9	9.5	10.9	9.9	11.1	13.1	11.5
Cs	0.93	0.58	0.44	0.59	0.49	0.90	0.80
Ba	554	292	475	455	530	567	483
La	13.0	14.7	37.7	17.2	20.6	26.3	24.6
Ce	26.3	28.6	63.6	31.3	36.1	46.5	43.7
Pr	3.20	3.23	6.08	3.29	3.70	4.84	4.41
Nd	12.5	11.8	19.2	11.5	12.5	16.5	14.7
Sm	2.59	2.14	2.94	2.09	2.15	2.81	2.48
Eu	0.90	0.71	0.81	0.70	0.73	0.85	0.74
Gd	2.54	2.06	3.02	2.09	2.12	2.45	2.22
Tb	0.39	0.29	0.38	0.29	0.30	0.38	0.35
Dy	2.35	1.66	2.16	1.72	1.75	2.17	2.00
Ho	0.48	0.34	0.44	0.37	0.37	0.45	0.42
Er	1.40	1.01	1.27	1.07	1.09	1.27	1.26
Tm	0.22	0.16	0.20	0.17	0.17	0.20	0.20
Yb	1.49	1.13	1.35	1.16	1.20	1.35	1.39
Lu	0.24	0.19	0.22	0.19	0.20	0.22	0.23
Hf	3.78	3.55	3.67	3.49	3.43	3.71	3.67
Ta	0.904	0.673	0.908	0.781	0.917	1.073	0.953
W	0.208	0.071	0.255	0.167	0.418	0.508	0.500
Tl	0.248	0.108	0.211	0.197	0.160	0.191	0.235
Pb	6.3	4.1	6.8	4.9	4.7	6.1	6.3
Th	7.31	3.78	11.86	10.00	11.84	13.74	11.99
U	2.56	1.04	2.81	2.04	2.20	3.12	2.68

Araştırma makalesi/Research article  
DOI:10.29132/ijpas.991777

element değerlerine sahiptir. İnceleme konusunu oluşturan granitik kayalar  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Sr}$  ve  $\text{Y}$  diyagramlarında ve  $\text{Zr}$ 'a karşı  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Co}$  ve  $\text{Ba}$  değişim diyagramlarında incelendiğinde,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sr}$  ve  $\text{Y}$  değerlerinde negatif gidişler,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Co}$  ve  $\text{Ba}$  değerlerinde pozitif gidişler sergilemektedir (Şekil 6). İncelenen granitik kayalar  $\text{SiO}_2$ 'e karşı  $\text{K}_2\text{O}$  değişim diyagramında kalkalkalen'den yüksek  $\text{K}$  kalkalkalene kadar değişen bileşimsel dağılıma sahip olduğu görülmektedir (Şekil 7a) İncelenen kayaların  $\text{Ce}$ 'a karşı  $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$  (Whalen ve ark., 1987) diyagramlarında I ve S tipi granit alanına düştüğü (Şekil 7b),  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{P}_2\text{O}_5$  diyagramında ise I-tipi bir trend gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 7c).  $\text{Th}/\text{Yb}$ 'ye karşı  $\text{La}/\text{Yb}$  (Şekil 8a) diyagramında incelenen granitik kayalar kıtasal yay bölgesine düştüğü görülmektedir.  $\text{Y}+\text{Nb}$ 'ye karşı  $\text{Rb}$  tektonik ayırtman diyagramında incelenen kayalar volkanik yay ve çarpışma granitleri alanına düşmektedir (Şekil 8b).

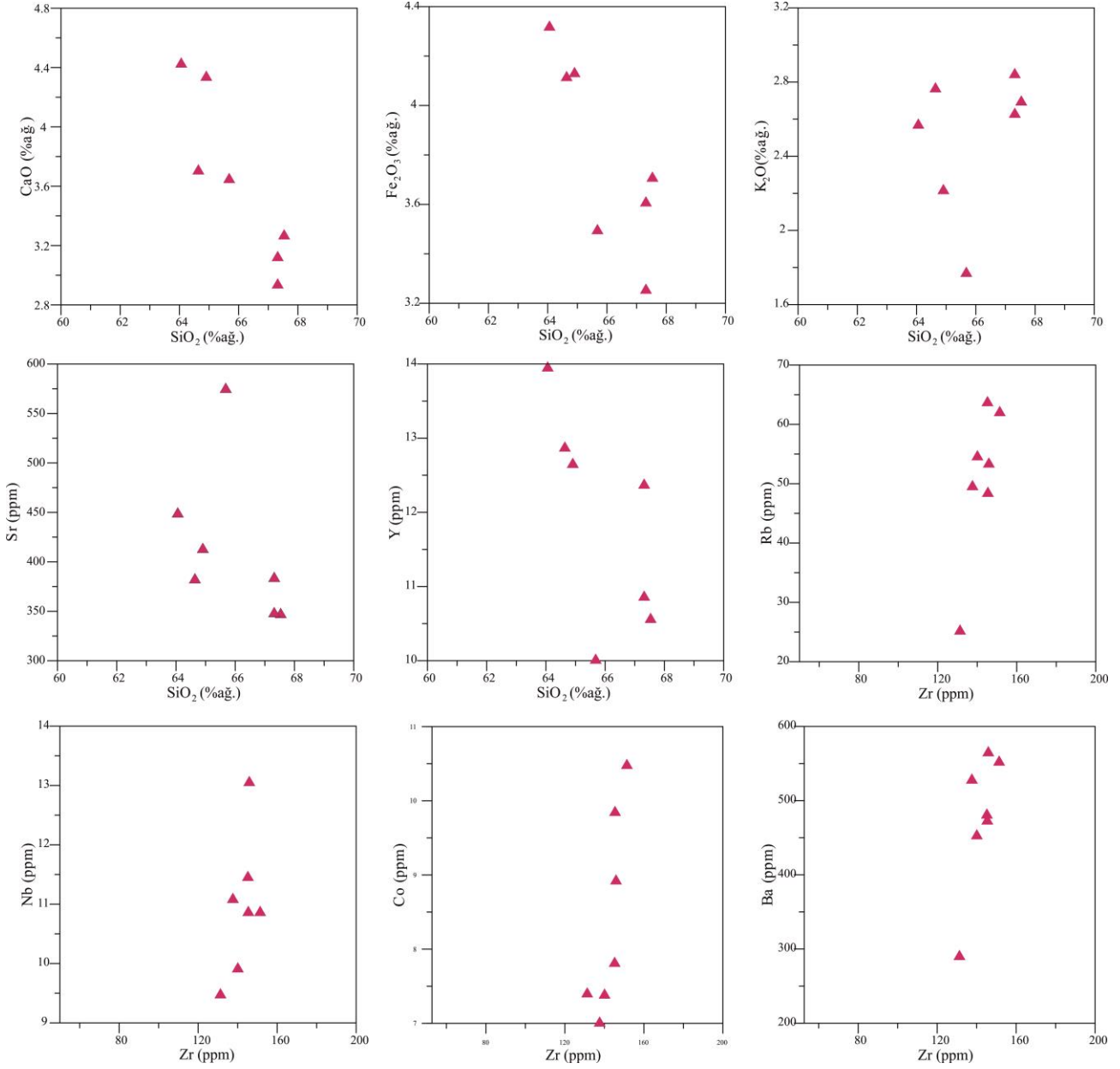
İlksel mantoya normalize edilmiş (İlksel Manto: Sun ve McDonough, 1989) çoklu element diyagramında, çalışma konusunu oluşturan granitik kayalar  $\text{Rb}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{Ba}$  gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerde (BİYE) zenginleşme olduğu,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{P}$  ve  $\text{Ta}$  gibi yüksek alan enerjili elementlerde (YAEE) ise fakirleşme olduğu görülmektedir. Granitik kayalarda gözlenen negatif  $\text{Nb}$  anomalisi yitimle ilişkili magmaların karakteristik özelliğidir (Shi ve ark., 2010) (Şekil 9a).

Çamlıkaya plütonuna ait örneklerinin kondrite göre normalize edilmiş iz element diyagramlarında, hafif nadir toprak elementlerinin (HNTE) ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) göre daha fazla zenginleştiği gözlenmektedir. Kayalarda gözlenen negatif  $\text{Eu}$  anomalisi plajiyoklasların fraksiyonel kristallenmesi ile ilişkilidir (Şekil 9b).

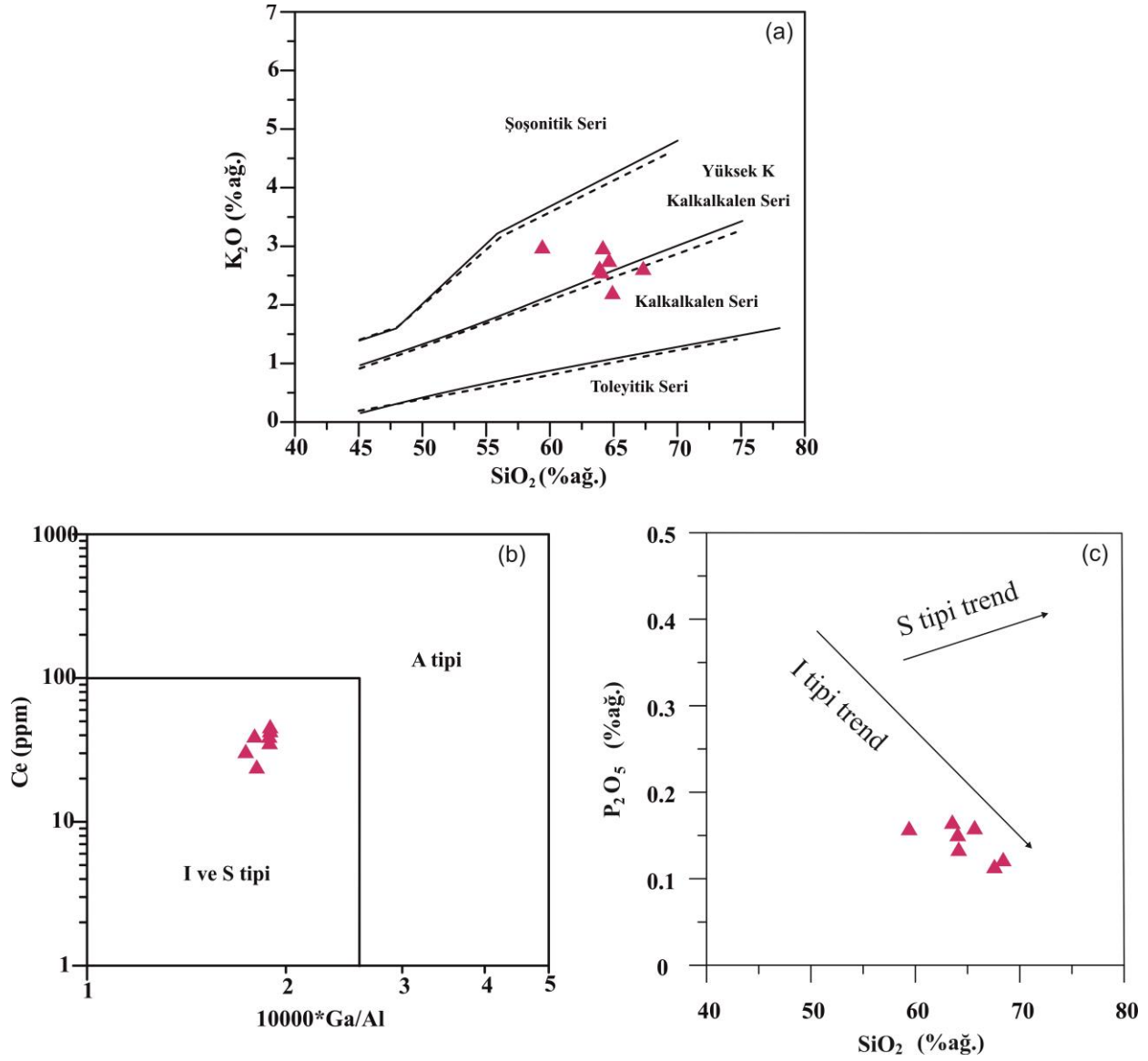


Şekil 5. Çamlıkaya plütonuna ait granitik kayaların toplam alkali silis diyagramı (Le Bas ve ark., 1986)

Araştırma makalesi/Research article  
DOI:10.29132/ijpas.991777



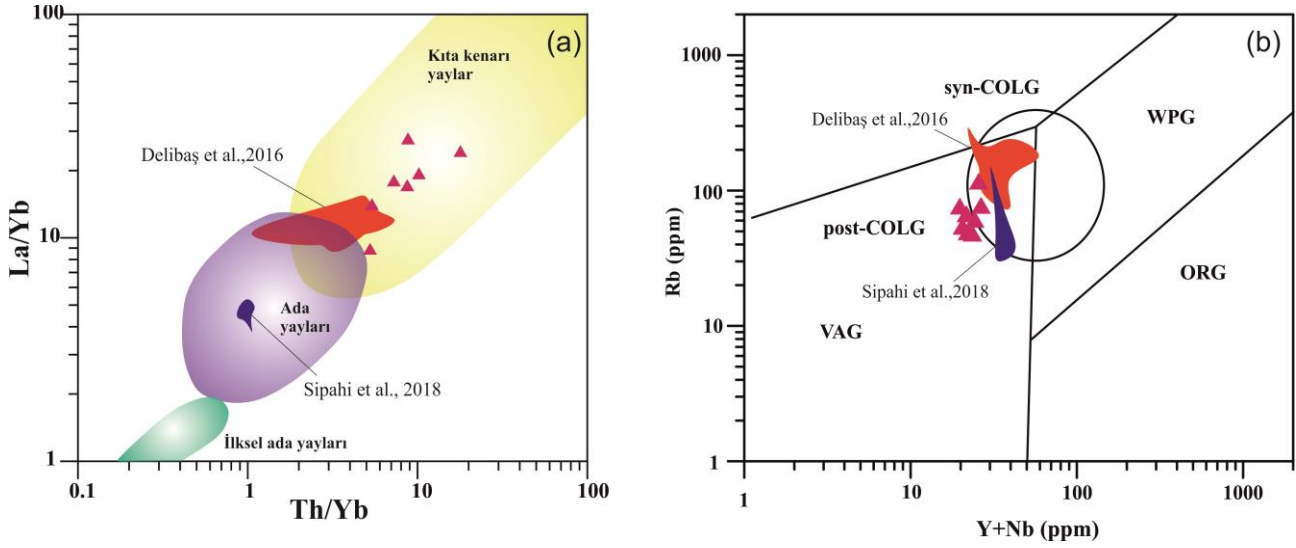
Şekil 6. Çamlıkaya plütönuna ait granitik kayaçların harker diyagramları



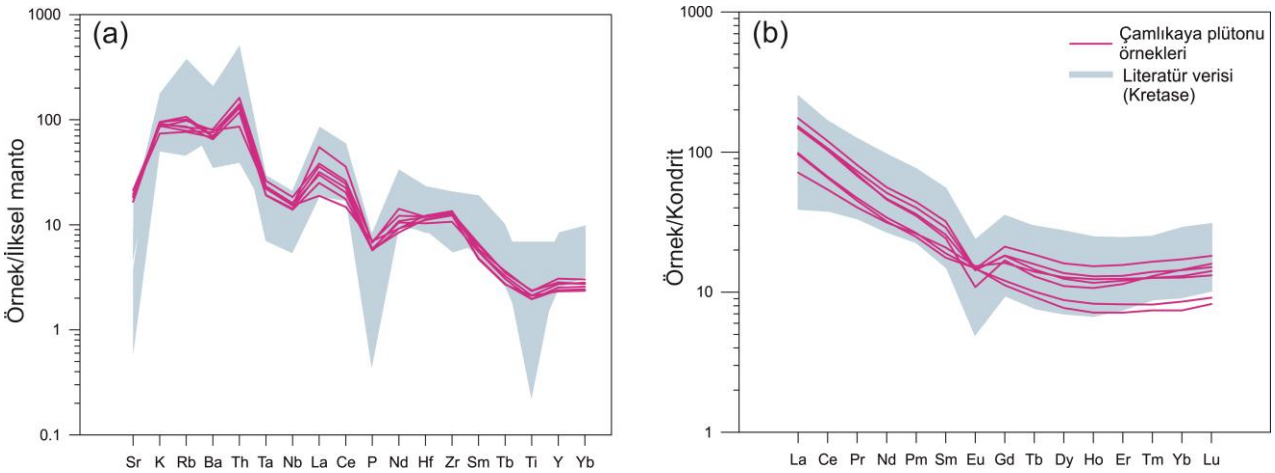
**Şekil 7.** Çamlıkaya plütönuna ait granitik kayaçların **a)**  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  değişim diyagramı (Peccherillo ve Taylor, 1976) **b)**  $10000 * Ga/Al - Ce$  değişim diyagramı (Whalen ve ark., 1987) **c)**  $SiO_2$  vs.  $P_2O_5$  değişim diyagramı (Chappell ve White, 1992)



Araştırma makalesi/Research article  
DOI:10.29132/ijpas.991777



**Şekil 8.** Çamlıkaya plütönüne ait granitik kayaçların **a)** Th/Yb vs. La/Yb değişim diyagramı **b)** Y+Nb vs. Rb tektonik ayırtman diyagramı (Pearce ve ark., 1984). Çarpışma sonrası bölge (Pearce, 1996).



**Şekil 9.** Çamlıkaya plütönüne ait granitik kayaçların **a)** ilksel mantoya göre normalize edilmiş spider diyagramı (Sun ve McDonough, 1989) **b)** kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramı (Sun ve McDonough, 1989) (Literatür verisi; Delibaş et al., 2016 ve Sipahi et al., 2018'den alınmıştır.)

## TARTIŞMA VE SONUÇ

İnceleme konusunu oluşturan Çamlıkaya plütönüne ait kayaçlar granit ve granodiyoritler ile temsil edilmektedir. Bileşimsel olarak kalkalkalen, yüksek-K kalkalkalen ve şoşonitiğe kadar değişen magma özelliğinde olup, I-tipi bir karakter sergilemektedir.

Aktif kıta kenarlarında bulunan granitik plütönler genellikle, bileşimsel olarak farklı kaynakların, farklı ergime derecelerinde kısmi

ergimeye uğraması sonucu üretilen ergiyekler arasındaki karışım süreçleri ile oluşmaktadır. I-tipi granitik kayaçların oluşumu için farklı araştırmacılar farklı görüşler belirtmiştir. I-tipi granitik kayaçlar çoğunlukla bazaltik ana magmaların silisyum içeriği bakımından zengin kıtasal kabuk bileşenleri ile etkileşimi sonucu, fraksiyonel kristallenme, kirlenme ve magma karışım süreçleri sonucunda oluştuğu kabul görmektedir (Grove ve Donnely-Nolan, 1986; Hildreth ve Moorbath, 1988). Chappel

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI:10.29132/ijpas.991777

ve White, (1992); Roberts ve Clemens (1993), yüksek-K kalkalkalen ve şoşonitik bileşime sahip I-tipi granitik kayaların genellikle alt/orta kabuk ya da alt-kıtasaal manto kaynaklı meta-magmatik kayaların ürünleri olduğu belirtmiştir. Castro ve ark. (1991), bu kayaların oluşumunda manto ve kabuk kaynaklı magmaların karışımının etkin rol oynadığını belirtirken, Chappel ve White (1992), magmatik kökenli kabuk kayalarının kısmi ergimesi ile oluştuğunu belirtmiştir.

İnceleme konusunu oluşturan granitik kayalar  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı CaO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Sr ve Y diyagramlarında ve Zr'a karşı Rb, Nb, Co ve Ba değişim diyagramlarında incelendiğinde, CaO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Sr ve Y değerlerinde negatif gidişler,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Nb, Co ve Ba değerlerinde pozitif gidişler sergilemektedir (Şekil 6). CaO ve Sr değerlerindeki gözlenen negatif yönsemeler plajiyoklasların fraksiyonel kristallenmesi ile ilişkilidir. Co değerlerinde görülen negatif gidişler olivin, piroksen gibi minerallerin fraksiyonel kristallenmesi ile ilgilidir. Artan  $\text{SiO}_2$  ve Zr oranı ile birlikte  $\text{K}_2\text{O}$  ve Rb değerlerindeki pozitif trendler biyotit ve K feldispat gibi minerallerin kristallenmenin geç evrelerinde oluştuğuna işaret etmektedir.

İncelenen kayaların ilksel mantoya göre normalize edilmiş iz element diyagramlarında, K, Rb ve La gibi elementlerde pozitif anomaliler gözlenirken Ba, Ti, Sr ve Nb gibi elementlerde negatif anomaliler gözlenmektedir. Delibaş ve ark., (2016) ve Sipahi ve ark., (2018)'in verileri spider diyagramlarında kullanılmış ve inceleme konusunu oluşturan örneklerle benzer yönsemeler gösterdikleri gözlenmiştir. Bu özellikler, orojenezle eş zamanlı kıtasal kabuk kaynaklı granitoidlerin tipik özelliklerindedir (Chappel ve White, 1992). Nb ve Ta değerlerindeki negatif anomaliler yitimle ilişkiye ya da kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir. Nb değerlerinde ve Yüksek Alan Enerjili Elementlerde (YAEE), Büyük İyon Yarıçaplı Elementlere oranla negatif anomaliler görülmesi kabuksal kirlenmeye işaret etmesine rağmen, bu anomaliler yiten levha tarafından BİYE'lerce zenginleşmiş yitimle ilişkili magmaların karakteristiğini yansıtmaktadır (McCulloch ve Gamble, 1991; Borg ve ark., 1997).

İncelenen kayaların kondrite göre normalize edilmiş iz element diyagramlarında, HNTE'nin, ANTE'ne oranla daha fazla zenginleştiği gözlenmektedir. Eu değerlerinde görülen negatif

anomaliler plajiyoklasların fraksiyonel kristallenmesi ile ilişkilidir.

Rb/Sr, Nb/Ta, Zr/Hf, Th/U, Nb/La ve Th/Ta gibi bazı iz element oranları magma kökeni ile ilgili ipuçları sunmaktadır. İncelenen kayaların Rb/Sr oranları (0.04-0.18) arasında değişmektedir. Yüksek Rb/Sr oranları bu kayaların oluşumunda metamagmatik, metasedimanter veya felsik mikalı kıtasal kayanın etkin rol oynadığını göstermektedir (Van de Fliert ve ark., 2003; Jung ve ark., 2009). Çalışma konusunu oluşturan Çamlıkaya plütönuna ait kayaların Nb/Ta oranları (11.9-14.1 ppm), Zr/Hf oranları (37-40 ppm) ve Th/U oranları (2-5 ppm) arasında değişmektedir. Volkanik yay granitlerinin Nb/Ta oranları 5-9 ppm aralığında değişirken I-tipi granitlerde ise 1.5-22 ppm aralığında değişmektedir. Yüksek Nb/Ta, Zr/Hf ve Th/U değerleri bu kayaları oluşturan magmaların, kabuksal kayaların kısmi ergimesinden kaynaklandığını göstermektedir (Eby, 1992; Green, 1995). Yüksek Nb/La oranları okyanus adası bazaltları ile ilişkili astenosferik manto kökenini (Nb/La >1) ya da litoferik manto ile astenosferik manto karışımını (Nb/La ~ 0.5-1) işaret etmektedir (Smith ve ark., 1999). Aksine düşük Nb/La (yaklaşık <0.5) oranları litosferik mantoda HNTE'lere göre YAEE'lerin (Nb ve Ta gibi) tükenmesi nedeniyle litosferik bir manto kaynağını göstermektedir (Smith ve ark., 1999). İnceleme konusunu oluşturan kayaların düşük Nb/La oranları (0.2-0.8 ppm) litosferik kökene işaret etmektedir. Th/Ta oranları manto kabuk etkileşiminin önemli bir göstergesidir. Manto kaynaklı kayaların Th/Ta oranları 2'ye yakındır, alt kıtasal kabuk için 7.9 üst kıtasal kabuk için 6.9 dur (Shellnutt ve ark., 2009). İncelenen kayaların yüksek Th/Ta oranları (5-13 ppm) bu kayaların oluşumunda kabuksal kökene işaret etmektedir.

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda yer alan plütönlar çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Şengör ve Yılmaz, (1981); Boztuğ ve ark., (2006), (2007); Eyüboğlu ve ark., (2011), (2019); Kaygusuz ve ark., (2014); Delibaş ve ark., (2016); Sipahi ve ark., (2017), (2018); Karlı ve ark., (2020)). Boztuğ ve ark.,(2006) Kaçkar Batolitinde yapmış oldukları çalışmada, Batolitinin, Alt Kretase-Eosen aralığında beş farklı evrede oluştuğunu ve bu evrelerin, Neo-Tetis okyanusunun İzmir-Ankara-Erzincan/Sevan-Akera kenet kuşağı boyunca Avrasya levhasının altına kuzeye doğru dalması ve ardından gelişen sıkışma ve genişleme tektonik

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI:10.29132/ijpas.991777

rejimleri ile ilgili olduğunu söylemişlerdir. Sar (2020) Çamlıkaya plütonunda yapmış olduğu U-Pb yaş verisine göre plütonun yaşını 134 My olarak tespit etmiştir. Karşılı ve ark. (2020) Çamlıkaya plütodaki lamprofir dayklarında yapmış oldukları U-Pb yaş analizlerinde daykların yaşını 126 My olarak tespit etmiştir.

Doğu Pontid Orojenik Kuşağında yer alan Plütonların Neotetis okyanusal kabuğunun kuzey kolunun Avrasya plakası altına yitimi ve sonrasında gelişen sıkışma ve genişleme tektonik rejimleri ile ilgili olduğu bir çok araştırmacı tarafından kabul görmektedir (Boztuğ ve ark., (2006), (2007); Eyüboğlu ve ark., (2011), (2019); Kaygusuz ve ark., (2014); Delibaş ve ark., (2016); Sipahi ve ark., (2017), (2018); Karşılı ve ark., (2020); Sar, 2020)). Ancak yitimin yönü ve zamanlaması hala tartışmalıdır. Eyüboğlu ve ark. (2011); (2019) Doğu Pontid Orojenik Kuşağında yer alan plütonların Neotetis okyanusal kabuğunun kuzey kolunun, güney yönlü yitimi ile oluştuğunu belirtirken, Şengör ve Yılmaz, (1981); Kaygusuz ve ark., (2014); Delibaş ve ark., (2016); Sipahi ve ark., (2017), (2018); Karşılı ve ark., (2020); Sar, (2020) kuzey yönlü yitim modelini desteklemektedir.

Sonuç olarak;

- İnceleme konusunu oluşturan Çamlıkaya plütonuna ait kayalar granit ve granodiyortiler ile temsil edilmektedir.
- İncelenen kayalar I-tipi granit özelliğinde olup, kalkalkalen ve yüksek-K'lu kalkalkalen bileşimsel dağılıma sahiptir.
- İlksel mantoya göre normalize edilmiş iz element diyagramlarında, BİYE, YAEE'e oranla daha fazla zenginleşmiştir. Nb anomalileri ve YAEE'de görülen negatif anomaliler kayaların oluşumunda kabuksal kirlenmenin etkin rol oynadığını göstermektedir.
- İnceleme alanında yüzeyeleyen plütonik kayalar tektonik ayırtman diyagramlarında değerlendirildiğinde, genel olarak çarpışma sonrası ve volkanik yay granitleri alanına düştüğü gözlenmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2214A Doktora Sırası Yurtdışı Araştırma Burs Programı tarafından

desteklenmiştir (Protokol numarası 1059B141800146 ). Arazi çalışmalarında emeği geçen Mustafa Eren Rizeli'ye ve analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Ulusal Tayvan Üniversitesinden Prof. Dr. Sun-Lin Chung'a, laboratuvar çalışmalarında emeği geçen Jia-Huei Chen ve Yu-Chin Lin'e teşekkür ederim.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Borg, L.E. Nyquist, L.E. Wiesmann, H. ve Shih, C.Y. (1997). Constraints on Martian differentiation processes from Rb-Sr and Sm-Nd isotopic analyses of the basaltic shergottite QUE94201. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 4915-4931.
- Boztuğ, D. Wagner, G.A. Erçin, A.İ. Göç, D. Yeğingil, Z. İskenderoğlu, A. Kuruçelik, M.K. Kömür, İ. ve Güngör, Y. (2002). Sphene and zircon fission-track geochronology unravelling subduction- and collision-related magma surges in the composite Kaçkar Batholith, eastern Black Sea region, Turkey. 1st International Symposium of the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering, 16-18 May 2002, Istanbul, Turkey, Abstracts, p.121.
- Boztuğ, D. Erçin, A.İ. Kuruçelik, M.K. Kömür, İ. ve İskenderoğlu, A. (2006). Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 27, 286-302.
- Boztuğ, D. Jonckheere, R. Wagner, G.A. Erçin, A.I. ve Yeğingil, Z. (2007). Titanite and zircon fission-track dating resolves igneous episodes in the formation of the composite Kaçkar batholith in the Turkish eastern Pontides. *International Journal of Earth Science*, 96, 875-886.
- Castro, A. Moreno-Ventas, I. ve Dela Rosa, J.D. (1991). H-type (hybrid) granitoids: a proposed revision of the granite-type classification and nomenclature. *Earth Science Reviews*, 31, 237-253.
- Cavazza W. ve Wezel F.C. (2003). The Mediterranean region—a geological primer. *Episodes*, 26, 160-168.
- Chappell, B.W. ve White, A.J.R. (1992). I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transition of the Royal Society Edinburgh Earth Science*, 83, 1-26.

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI:10.29132/ijpas.991777

- Çoğulu, E. (1975) Gümüşhane ve Rize bölgelerinde petrolojik ve jeokronometrik araştırmalar: İstanbul Teknik Üniversitesi yayını, 1034, İstanbul.
- Delaloye, M. Çoğulu, E. ve Chesse, R. (1972). Etude géochronométrique des massifs cristallins de Rize et de Gümüşhane, Pontides Orientales (Turquie). Archives des Sciences Physiques et Naturelles, 25, 43–52.
- Delibaş, O. Moritz, R. Ulianov, A. Chiaradia, M. Saraç, C. Revan, K.M. ve Göç, D. (2016). Cretaceous subduction-related magmatism and associated porphyry-type Cu–Mo prospects in the Eastern Pontides, Turkey: New constraints from geochronology and geochemistry. Lithos, 248-251, 119–137.
- Dokuz, A. (2011). A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton. Gondwana Research, 19, 926-944.
- Dokuz, A. Karlı, O. Chen, B. ve Uysal, İ. (2010). Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusufeli area, Northeastern Turkey: Implications for pre- and post-collisional lithospheric thinning of the eastern Pontides. Tectonophysics, 480, 259-279.
- Eby, G.N. (1992). Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20, 641–644.
- Elmas, A. (1995). Geology of the Kop Dağı area (Bayburt–Erzurum): evolution of a fore-arc basin (in Turkish). TPJD Bülteni, 6, 19–37.
- Eyüboğlu, Y. Santosh, M. ve Chung, S.L. (2011). Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust–mantle transition zone: Petrology, geochemistry and U–Pb zircon chronology of the Seme adakites, Eastern Pontides, NE Turkey. Lithos, 121, 151–166.
- Eyüboğlu, Y. Dudas, F.O. Zhu, D.C. Liu, Z. ve Chatterje, N. (2019). Late Cretaceous I- and A-type magmas in eastern Turkey: Magmatic response to double-sided subduction of Paleo- and Neo-Tethyan lithospheres. Lithos, 326–327, 39–70.
- Green, T.H. (1995). Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust–mantle system. Chemical Geology, 120, 347–359.
- Grove, T.L. ve Donnelly-Nolan. J.M. (1986). The Evolution of Young Silicic Lavas at Medicine Lake Volcano, California: Implications for the Origin of Compositional Gaps in Calc-Alkaline Series Lavas. Contributions to Mineralogy and Petrology, 92, 281-302.
- Hildreth, W. ve Moorbath, S. (1988). Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. Contributions to Mineralogy and Petrology, 98, 455–489.
- Jung, S. Masberg, P. Mihm, D. ve Hoernes, S. (2009). Partial melting of diverse crustal sources — constraints from Sr–Nd–O isotope compositions of quartz diorite–granodiorite–leucogranite associations (Kaoko Belt, Namibia). Lithos, 111, 236–251.
- Karlı, O. İlhan, M. Kandemir, R. Dokuz, A. Aydın, F. Uysal, İ. ve Duygu, L. (2020). Nature of the Early Cretaceous lamprophyre and high-Nb basaltic dykes, NE Turkey: Constraints on their linkage to subduction initiation of Neotethyan oceanic lithosphere. Lithos, 380–381, 105884.
- Kaygusuz, A. Arslan, M. Siebel, W. Sipahi, F. İlbeyli, N. ve Temizel, İ. (2014). LA-ICP-MS zircon dating, whole-rock and Sr–Nd–Pb–O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in arc-related, I-type magmatism. Lithos, 192–195, 271–290.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66,20-34.
- Le Bas, M.J. Le Maitre, R.W. Streckesian, A. ve Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. Journal of Petrology, 27, 745-750.
- Lin, I.-J. Chung, S.-L. Chu, C.-H. Lee, H.-Y. Gallet, S. Wu, G. Ji, J. ve Zhang, Y. (2012). Geochemical and Sr/Nd isotopic characteristics of Cretaceous to Paleocene granitoids and volcanic rocks, SE Tibet: petrogenesis and tectonic implications, J. Asian Earth Sci., 53, 131-150.
- McCulloch, M.T. ve Gamble, J.A. (1991). Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. Earth and Planetary Science Letters, 102, 358–374.
- Okay, A. (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. Annschnitt, 21, 19-42.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G., Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, AAPG Memoir, 68, 291-310.
- Okay, A.I. (1996). Granulite facies gneisses from the Pular region, Eastern Pontides. Turkish Journal of Earth Sciences, 5, 55-61.
- Özsayar, T. Pelin, S. ve Gedikoğlu, A. (1981). Artvin Yöresi Yastık Lavlarının Yaşına İlişkin Paleontolojik Veriler: KTÜ Yerbilimleri Dergisi, Trabzon, 2, 1-2.
- Pearce, J.A. (1996). Sources and settings of granitic rocks. Episodes, 19 (4), 120-125.
- Pearce, J.A. Harris, N.B.W. ve Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal Petrol, 25, 956-983.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks in the Kastamonu area, Northern Turkey. Contrib Miner Petrol, 58, 63-81.

Araştırma makalesi/Research article  
 DOI:10.29132/ijpas.991777

- Roberts, M.P. ve Clemens, J.D. (1993). Origin of high-potassium, calc-alkaline, I-type granitoids. *Geology*, 21, 825–828.
- Robertson, A. H. F. Parlak, O. Ustaömer, T. Taslı, K. İnan, N. Dumitrica, P. ve Karaoğlan, F. (2013). Subduction, ophiolite genesis and collision history of Tethys adjacent to the Eurasian continental margin: new evidence from the Eastern Pontides, Turkey. *Geodinamica Acta*, 26 (3-4), 230-293.
- Sar, (2020). Erzurum, Artvin ve Rize Bölgesindeki (Doğu Pontidler-Türkiye) Asit Plütonik Kayaçların Petrolojisi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s. 228.
- Shellnutt, J.G. Zhou, M.-F. ve Zellmer, G.F. (2009). The role of Fe–Ti oxide crystallization in the formation of A-type granitoids with implications for the Daly gap: An example from the Permian Baima igneous complex, SW China. *Chemical Geology*, 259, 204–217.
- Shi, W.X. Liao, Q.A. Hu, Y.Q. ve Yang, Z.F. (2010). Characteristics of Mesoproterozoic granites and their geological significances from middle tianshan block, east tianshan district, NW China. *Geol. Sci. Technol. Inf.* 29, 29e37 (in Chinese with English abstract).
- Sipahi, F. Akpınar, İ. Saydam Eker, Ç. Kaygusuz, A. Vural, A. ve Yılmaz, M. (2017). Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, litho geochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O–H–C–S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 32–52.
- Sipahi, F. Kaygusuz, A. Saydam, Ç. Vural, E.A. ve Akpınar, İ. (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review*, 60, 382–400.
- Smith, E.I. Sánchez, A. Walker, J.D. ve Wang, K. (1999). Geochemistry of mafic magma in the Hurricane Volcanic field, Utah: implications for small- and large- scale chemical variability of the lithospheric mantle. *Journal of Geology*, 107, 433–448.
- Streckeisen, A.L. ve Le Maitre. R.W. (1979). Chemical approximation to modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neus Jahrbuch für Mineralogie*, 136, 169-206.
- Sun, S. ve Mc Donough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. İmplications for mantle compositional processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in the ocean basins*, Special Publication 42. Geological Society of London, 312.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241
- Tokel, S. (1995) Magmatic and geochemical evolution of the Pontide segment of the northern Tethys subduction system, *Geology of the Black Sea region*, Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region, September 7–11, 1992, Ankara, edited by A. Erler, T. Ercan, E. Bingöl, and S. Örcen, published by the General Directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers, Ankara, Turkey, 163–170
- Topuz, G. Altherr, R. Schwarz, W.H. Dokuz, A. ve Meyer, H.P. (2007). Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtođlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873.
- Topuz, G. Altherr, R. Siebel, W. Schwarz, W.H. Zack, T. Hasözbeğ, A. Barth, M. Satır, M. ve Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116, 92–110.
- Ustaömer, T. ve A. Robertson. (1997). Tectonic-Sedimentary Evolution of the North Tethyan Margin in the Central Pontides of Northern Turkey, in *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, edited by A. G. Robinson, AAPG Memoir, 68, 255–290.
- Van de Fliedert, T. Hoernes, S. Jung, S. Masberg, P. Hoffer, E. Schaltegger, U. ve Friedrichsen, H. (2003). Lower crustal melting and the role of open-system processes in the genesis of syn-orogenic quartz diorite–granite–leucogranite associations: constraints from Sr–Nd–O isotopes from the Bantombaa Complex, Namibia. *Lithos*, 67, 205–226.
- Whalen, J.B. Currie, K.L. ve Chappell, B.W. (1987). A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, 407-419.
- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D. (1996). Space and Time Relations of Three Plutonic Phases in the Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 38,935–956.
- Yılmaz, Y. Tüysüz, O. Yiğitbaş, E. Genç, Ş.C. Şengör, A.M.C. (1997). Geology and Tectonic Evolution of the Pontides. In: Robinson, A.G., (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 183–226.

## Biyoreaktörde *Bacillus pumilus* ile Pektinaz Enzimlerinin Üretimi ve Karıştırma ve Hava Akış Hızının Etkisinin İncelenmesi

Özlem Tepe\*, Arzu Y. Dursun

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

\*otepe@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, aydursun@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 25.10.2021, Makale kabul tarihi: 21.04.2022

### Öz

Pektinazlar, pektik polimerdeki glikozidik bağların hidrolizini katalizleyen enzim ailesinin genel bir adıdır. Bu çalışmada *Bacillus pumilus* bakterisinin kesikli bir biyoreaktörde pektinaz grubu enzimlerden endo-pektinaz, ekzo-pektinaz ve pektin liyaz üretimi üzerine karıştırma ve hava akış hızlarının etkileri araştırılmıştır. Ayrıca oksijen tüketim hızı ve sıvı faz hacimsel kütle transfer katsayısının değişimi ve karıştırma için güç sayısının hesabı da yapılmıştır. *Bacillus pumilus* bakterisinin pektinaz grubu enzimlerin üretimi için optimum karıştırma hızı değerinin 300 rpm olduğu tayin edilmiştir. Hava akış hızının enzim aktivite değerlerine etkisinin incelendiği deneylerde en yüksek enzim aktivite değerleri 0.1 vvm' de elde edilmiştir. 300 rpm karıştırma hızında ve 0.1 vvm hava akış hızında en yüksek pektin liyaz aktivitesi 66. saatte 19.5, ekzo-pektinaz aktivitesi 28. saatte 10.69, endo-pektinaz aktivitesi 66. saatte 102.13 U mL<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir. Sıvı faz hacimsel oksijen transfer katsayısı değeri karıştırma hızının artmasıyla artmıştır. 300 rpm karıştırma hızında en yüksek k<sub>La</sub> değeri 26. saatte 0.1524 s<sup>-1</sup>, 400 rpm' de 60. saatte 0.2623 s<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir. Üstel üreme bölgesinde oksijen tüketim hızı zamanla artmış, üstel üreme bölgesinden sonra ise azalmıştır. Karıştırma hızı artırıldığında ise oksijen tüketim hızında azalma meydana gelmiştir. Optimum 300 rpm' de, sisteme havalandırmanın yapıldığı durumda ki güç değeri P<sub>g</sub>= 1.95 W olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Bacillus pumilus*, biyoreaktör, hava akış hızı, karıştırma hızı, pektinaz üretimi

## Production of Pectinase Enzymes by *Bacillus pumilus* in Bioreactor and Investigation of the Effect of Mixing and Airflow Rate

### Abstract

Pectinases are a general name for a family of enzymes that catalyze the hydrolysis of glycosidic bonds in pectic polymers. In this study, the effects of stirring speed and airflow rate on the production of endo-pektinase, exo-pektinase and pectin lyase from pectinase group enzymes in a batch bioreactor were investigated. In addition, the oxygen consumption rate and the change of the liquid phase volumetric mass transfer coefficient and the power number for stirring were also calculated. It was determined that the optimum stirring speed for the production of pectinase group enzymes of *Bacillus pumilus* bacteria was 300 rpm. In experiments where the effect of airflow rate on enzyme activity was investigated, the highest enzyme activity values were obtained at 0.1 vvm. The highest pectin lyase, exo-pektinase and endo-pektinase activities were recorded as 19.5 at the 66th hour, 10.69 at the 28th hour and 102.13 U mL<sup>-1</sup> at the 66th hour, respectively at a stirring speed of 300 rpm and an airflow rate of 0.1 vvm. The liquid phase volumetric oxygen transfer coefficient value increased with increasing stirring speed. The highest k<sub>La</sub> value was recorded as 0.1524 h<sup>-1</sup> at the 26th hour at 300 rpm stirring speed and 0.2623 h<sup>-1</sup> at the 60th hour at 400 rpm. The oxygen consumption rate increased in the exponential growing zone and decreased after the exponential growing zone. When the stirring speed was increased, the oxygen consumption rate decreased. At optimum 300 rpm, the power value in the case of aeration to the system was found to be 1.95 W.

**Keywords:** Airflow rate, *Bacillus pumilus*, bioreactor, pectinase production, stirring speed

### GİRİŞ

Enzimler, katalitik olarak aktif proteinlerdir endüstrisinde, nişastanın dönüştürülmesinde, yakıt (Soetaert ve Vandamme, 2006). Deterjan alkol üretiminde, tekstil uygulamalarında, gıda ve

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

yiyecek endüstrilerinde, katı ve sıvı yağların işlenmesinde, organik sentezlerde, kağıt ve kağıt hamuru üretiminde ve bunun gibi birçok alanda kullanılmakta ve endüstriyel kullanımı hızla artmaktadır (Kirk ve ark., 2002; Ogawa ve Shimizu, 2002).

Bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar gibi canlı organizmalar enzim kaynaklarıdır (Ozzybek ve Cekmecelioglu, 2022). Ancak, ticari uygulamalarda en önemli endüstriyel enzim kaynağı mikroorganizmalardır. Mikroorganizmalarla enzim üretimi, fiziksel ya da fiziko-kimyasal olarak kontrol edilebilir. Mikroorganizmalar tarafından üretilmiş enzim miktarı, bitki ve hayvan kaynaklarından daha yüksektir. Mikroorganizmalar tarafından üretilen özellikle hücre dışı enzimler kolaylıkla ekstrakte edilebilir (Ibrahim, 2008). Günümüzde mikroorganizmalardan enzim üretimi, derin kültür ve katı hal fermantasyon prosesleriyle başarılı olarak gerçekleştirilmektedir (Ibrahim, 2008; Fasim ve ark., 2021). Enzimler, önemli mikrobiyal metabolitler olarak düşünülmekte ve ticari ölçekte birçok gelişmiş ülkede özellikle Avrupa, ABD ve Japonya’da başarılı olarak üretilmektedir. Çalışılmış olan enzimler; lipaz, lipoprotein lipaz, proteaz, selulaz, lignin degrade eden enzimler (lignin peroksidaz manganez peroksidaz), lakkaz, mannanaz, kitinaz, fitaz,  $\beta$ -glukosidaz ve pektinazdır (Ibrahim, 2008).

Pektinazlar, pektik polimerdeki glikozidik bağların hidrolizini katalizleyen enzim ailesinin genel bir adıdır (Reid ve Ricard, 2000). Bitki duvarlarında ve orta lamelde bulunan pektik maddeler yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Poligalakturonik asit bu maddeleri oluşturan birimdir ve birbirleriyle  $\alpha$ -1,4 bağı ile düz bir zincir yapmışlardır. Pektinik asit, pektin, pektik asit ve bunların tuzlarını içeren bir grup madde pektik maddelerdir (Willants ve ark., 2001). Pektik enzimler; pektinesterazlar (ester bağına hidrolize edici enzimler) ve depolimerazlar (zincir kırıcı enzimler) olarak iki sınıfa ayrılır (Aksöz ve Aksöz, 1985; Ahmed ve ark., 2021). Pektinazlar, evlerde kullanılmış olan ilk enzimlerden biridir. Pektinazlar günümüzde tekstil, meyve suyu endüstrileri ve çeşitli biyoteknolojik uygulamanın merkezi konumundadır (Kashyap ve ark., 2001). 2017 Küresel Pektinaz Pazar Araştırması raporuna göre 2021 yılına kadar pektinazın pazar büyüklüğünün 35.5 milyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Amin ve ark., 2019; John ve ark., 2020). Meyve suları ve şarabın ekstraksiyonu ve

durultulmasında (berraklaştırılması) asidofilik pektinazlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Alkali pektinazlar ise, pektinli materyalleri işleyen gıda endüstrisi atıksularının ilk arıtımı, tekstil ve bitki fiberlerin işlenmesi, çay ve kahve fermantasyonu ve yağ ekstraksiyonu gibi çeşitli geleneksel endüstriyel proseslerde kullanılmaktadır. Pektini parçalayan mikroorganizmalar ve pektinaz grubu enzimler hakkındaki bilginin artması ile beraber alkali pektinazlar bitki virüslerinin saflaştırılması ve kağıt yapımı gibi diğer biyoteknolojik proseslerde de kullanılmaktadır (Hoondal ve ark., 2002). Pektinaz enzimi üretimi için 30’ dan fazla bakteri, mantar ve maya cinsi kullanılmaktadır. Enzim üretim çalışmalarında, *Erwinia*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Kluyveromyces*, *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Rhizopus* sık çalışılan cinsler olmakla birlikte en fazla *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Erwinia* cinsleri kullanılmaktadır (Favela-Torres ve ark., 2006; Amin ve ark., 2019).

Birçok mikrobiyal proses aerobiktir ve bu proseslerde mikroorganizmalar solunum, çoğalma, ürün sentezi gibi metabolik faaliyetlerini sürdürebilmek için oksijene ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, bir gaz akımından yeterli oksijen sağlanması önemlidir (Garcia-Ochao ve Gomez, 2009; Ferreira ve ark., 2016). Ürün verimi ve seçiciliği, oksijen aktarımının eksikliği ya da fazlalığı ile etkilenmektedir. Mikroorganizma türü, üretim ortamının fiziksel özellikleri ile biyoreaktör ve karıştırıcı konfigürasyonu biyolojik proseslerde oksijen gereksinimi ve aktarımını etkiler. Karıştırmalı biyoreaktörlerin en önemli işletim parametreleri; oksijen/hava giriş hızı, karıştırma hızı ve bunlardan etkilenen oksijen aktarımıdır (Demirci, 2006; Yılmaz, 2008). Bazı prosesler de yüksek oksijen transfer hızları gerektiyken bazılarında oksijen alım hızlarını düzenlemek için kontrollü oksijen transfer hızları gereklidir. Biyoreaktör dizaynı, ölçek büyütme ve işletimi için, bir fermantasyon prosesinin kütle transfer karakteristiklerinin göstergeleri olan oksijen tüketim hızları ve oksijen transfer katsayıları gereklidir. Ancak, fermantasyon sıvısının kompleks bileşiminden dolayı bu parametreleri tahmin etmek güç olabilir (Korkmaz, 2007). Oksijen transferi, fiziksel bir olaydır. Bu nedenle, oksijen tüketimi biyokimyasal reaksiyonlar sırasında gerçekleşirken oksijen transfer hızı (OTH) tahmin edilebilir ve oksijen alım hızı (OAH) ölçülebilir (Haykır, 2007). Su içerisinde oksijen düşük çözünürlüğe sahip

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

olduğundan sıvı film direnci oksijen aktarımında önemlidir. Oksijen aktarım hızı; karıştırma veya hava akış hızının artırılmasıyla hava kabarcıkları çevresindeki film dirençleri kırılarak artırılabilir. Dolayısıyla biyoproses ortamı mekanik karıştırma ve/veya hava ile karıştırılmalıdır. Oksijenin sıvı faz hacimsel kütle aktarım katsayısı  $k_{La}$ , biyoreaktörlerde gaz-sıvı kütle aktarım hızını gösteren kritik bir parametredir.  $k_{La}$ , mikroorganizma türüne, fermantasyon ortamının fizikokimyasal özelliklerine, biyoreaktörün ve karıştırma sisteminin tasarımına, karıştırma ve havalandırma hızlarına bağlıdır (Demirci, 2006; Nur Asshifa ve ark., 2017).  $k_{La}$  tahmin edilmesi güç ancak ölçülebilir bir parametredir.  $k_{La}$ 'nın hesaplanması için çeşitli deneysel ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan dört yaklaşım; yatışkın olmayan durum, yatışkın durum, dinamik ve sülfite testi yöntemleridir (Shuler ve Kargı, 2002). Dinamik yöntem basittir ve metabolik aktiviteden kaynaklanan girişim azdır (Olughu ve ark., 2021). Tuzların ve yüzey aktif maddelerin varlığı kabarcık boyutunu ve gaz kabarcığı etrafındaki sıvı film direncini oldukça değiştirir. Bu faktörler oksijenin çözünürlüğünü de ( $C_o^*$ ) etkileyebilir.  $k_{La}$  ve  $C_o^*$  sıcaklık ve basınçtan da etkilenmektedir (Shuler ve Kargı, 2002).

Biyoreaktörler, çalkalamalı erlenler üzerinde çeşitli avantajlara sahiptirler. Biyoreaktörlerde pH, karıştırma ve hava akış hızı gibi proses parametreleri daha iyi kontrol edilir (Gummadi ve Kumar, 2008). Aerobik fermantasyonlarda, oksijen transferi anahtar bir değişkendir ve havalandırma ve karıştırmanın bir fonksiyonudur (Potumarthi ve ark., 2007). Bu nedenle maksimum ürün eldesi için optimum karıştırma ve hava akış hızı değerlerinin bulunması gereklidir (Potumarthi ve ark., 2007; Mishra ve ark., 2021).

Bu çalışmada, *Bacillus pumilus* ile pektinaz grubu enzimlerden pektin liyaz, ekzo ve endo-pektinaz üretimi laboratuvar ölçekli bir biyoreaktör kullanılarak yapılmıştır. Enzim üretimine karıştırma ve hava akış hızının etkisi incelenmiş ayrıca oksijen tüketim hızı ve sıvı faz hacimsel kütle transfer katsayısının değişimi ve karıştırma için güç sayısının hesabı da yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Mikroorganizma ve Enzim Üretim Ortamı

Çalışmalarda, National Center for Agricultural Utilization Research (Microbial Genomics & Bioprocessing Research Unit, Illinois, USA)' den temin edilen NRRL B-212 kodlu *Bacillus pumilus* bakterisi kullanılmıştır. Bu çalışmada, *B. pumilus* ile pektinaz grubu enzimlerden pektin liyaz, ekzo ve endo-pektinaz üretimi biyoreaktör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enzim üretimi çalışmalarında kullanılan besi ortamı bileşimi Tablo 1' de verilmiştir.

### Biyoreaktör Deneyleri

Pektinaz üretimine karıştırma ve hava akış hızının etkisini belirlemek amacıyla yapılacak deneylerde karıştırma hızı, sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH ve hava akış hızı değerlerinin kontrol edilebildiği bir biyoreaktör (New Brunswick Bioflo III) kullanılmıştır. 6 L toplam hacimli, 5 L çalışma hacmine sahip biyoreaktörün hazne bölümü, ısıya dayanıklı silindirik şekilde pyreks camdan oluşmakta ve cam bölmenin üstünde yer alan kapak ile haznenin altına yerleştirilmiş olan çanak şeklindeki taban kısmı paslanmaz çelikten oluşmaktadır. Kapak kısmı üzerinde; steril hava girişi ve çıkışı, pH ve çözünmüş oksijen problemleri, termovel, aşılama, numune alma, asit-baz, besi ortamı ve köpük kırıcı ilavesi için uygun bağlantılar vardır. Cam kap, üst kapak kablo bağlantıları çıkarıldıktan sonra tümüyle otoklavda sterilize edilebilmektedir (Şekil 1). Biyoproses süresince belirli zaman aralıklarında alınan örneklerde mikroorganizma konsantrasyonu, protein tayini ve enzim aktivite tayinleri yapılmıştır.

### Analiz Yöntemleri

*B. pumilus* ile yapılan enzim üretimi çalışmalarında belli aralıklarla fermantasyon ortamından alınan numuneler, 5000 rpm' de 10 dakika santrifüjlenerek (Nüve CN090) mikroorganizmadan ayrılmıştır. Elde edilen sıvı kısım enzim kaynağı olarak kullanılmıştır.

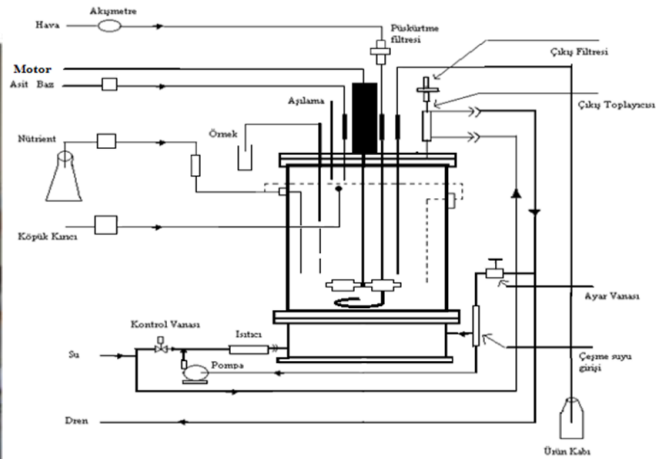
### Mikroorganizma konsantrasyonu tayini

Alınan örnekteki yaş *B. pumilus* derişimi  $g L^{-1}$  cinsinden spektrofotometrik (Jenway 6105 UV/Vis Spectrophotometer) olarak, absorbansa karşı yaş mikroorganizma derişimi çalışma doğrusu yardımıyla tayin edilmiştir. Daha sonra yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusundan yararlanarak  $g L^{-1}$  cinsinden kuru mikroorganizma derişimine geçilmiştir.



**Tablo 1.** Enzim üretimi çalışmalarında kullanılan besin ortamı

Bileşen	Miktar (% a/h)
Elma pektini	1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.05
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.15
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.3
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	0.01



**Şekil 1.** Biyoreaktörün resmi ve şematik gösterimi

### Pektin liyaz tayini

Pektinaz grubu enzimlerden pektin liyaz aktivitesi, Ramachandran (2005) tarafından önerilen metodun düzenlenmesiyle belirlenmiştir. Enzim aktivitesi, pektinin parçalanması sonucu oluşan doymamış son ürünler ve tiyobarbitürik asit arasındaki reaksiyona dayanmaktadır (Nedjma ve ark., 2001). Bir birim aktivite, ölçüm şartları altında birim zamanda birim hacimde 0.01 absorbans değişimine neden olan enzim miktarıdır. 5.0 mL pektin çözeltisi (pH 10.0), 1.0 mL kalsiyum klorür çözeltisi ve enzim çözeltisi (1.0 mL) içeren reaksiyon karışımının son hacmi distile su ile 10.0 mL'ye tamamlanmıştır. 40 °C' de 2 saat boyunca inkübe edildikten sonra 0.6 mL ZnSO<sub>4</sub> çözeltisi ve 0.6 mL NaOH çözeltisi ilave edilmiştir. 3000 g' de 10 dakika boyunca santrifüjlenerek protein ve kullanılmamış substrat çöktürülmüştür. Tiyobarbitürik asit (3.0 mL), hidroklorik asit (1.5 mL) ve distile sudan (0.5 mL) oluşan karışıma 5.0 mL süpernatant eklenmiştir. Karışım kaynayan bir su banyosunda 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Soğutulduktan sonra, ZnSO<sub>4</sub> ve NaOH ilavesinden önce inkübasyon yapılmayan aynı reaktifleri içeren kör çözeltiliye (enzim yerine 1.0 mL

tampon kullanılmıştır) karşı 550 nm' de absorbansı okunmuştur.

### Ekzo-pektinaz tayini

Ekzo-pektinaz tayini, pektinin parçalanması sonucu oluşan indirgenmiş şekerlerin ölçümüyle yapılmıştır (Miller, 1959). Ekzo-pektinaz aktivitesi için; pH değeri 10.0 olan 0.1 M glisin-NaOH tamponunda hazırlanmış 0.25 mL % 1 pektin çözeltisi ile 0.25 mL enzim örneği 15 dakika boyunca 50 °C' de inkübe edilmiştir. İndirgenmiş şekerler, referans olarak galakturonik asit kullanılarak dinitro salisilik asit (DNS) metoduyla belirlenmiştir. Bir birim ekzo-pektinaz aktivitesi, birim zamanda (dak.) 1 µmol galakturonik asit salıveren enzim miktarı olarak tanımlanmaktadır.

### Endo-pektinaz tayini

Endo-pektinaz aktivitesi viskozimetrik olarak ölçülmüştür (Tuttobello ve Mill, 1961; Mill ve Tuttobello, 1961). Endo-pektinaz için, 1 mL enzim örneği pH değeri 10.0 olan 0.1 M glisin-NaOH tamponunda hazırlanmış 19 mL % 0.5 pektin çözeltisi

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

ile karıştırılmıştır. 30 °C’ de 15 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra, viskozitedeki azalma Vibroviskometre marka viskozimetre ile takip edilmiştir. Bir birim endo-pektinaz aktivitesi yukarıda açıklanmış şartlar altında dakikada çözeltinin viskozitesini % 50 azaltan enzim miktarı olarak tanımlanmaktadır.

### Protein tayini

Üretim ortamında toplam protein miktarını belirlemek için, Lowry ve ark. (1951) tarafından verilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Örnek tüplerine 0.5 mL örnek, kör çözelti tüpüne de 0.5 mL saf su koyulmuştur. Tüm tüplere 2.5 mL Reaktif B (1 mL Reaktif 1 (% 2 CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) + 1 mL Reaktif 2 (% 2 Na-K-Tartarat) alınarak, 100 mL’ ye Reaktif A (0.1 N NaOH içinde % 2’ lik Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ile tamamlanmıştır) eklenmiştir. Karıştırılarak oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiştir. Tüm tüplere 0.25 mL Reaktif C (Folin Ciocalteu fenol reaktifi distile su ile 1/1 oranında seyreltilmiş) eklenmiştir. Karıştırılarak oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Absorbanslar 660 nm dalga boyunda kör çözeltiliye karşı okunmuştur. Protein miktarları oluşturulan kalibrasyon eğrisinden yararlanarak hesaplanmıştır. Örneklerdeki toplam protein derişimini belirlemek için bovine serum albuminin (BSA) derişimi bilinen örneklerinden yararlanılarak derişim-absorbans kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır.

### Biyoreaktörde Sıvı Faz Hacimsel Kütle Transfer Katsayısı ve Oksijen Tüketim Hızının Hesaplanması

Biyoreaktörde enzim üretimi boyunca sıvı faz hacimsel kütle transfer katsayısı ve oksijen tüketim hızını belirlemek için Dinamik Metot kullanılmıştır (Bandyopadhyay ve Humprey, 1967). Dinamik metot biyoreaktör içinde aktif olarak büyüyen organizmaların solunum aktivitesine dayanır. Dinamik Yöntemde önce biyoreaktörde fermantasyon sıvısına giren hava akışı birkaç dakika boyunca kesilir ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki azalma oksijen probuyla takip edilir. Daha sonra hava önceki işletme şartları altında tekrar verilir ve oksijen konsantrasyonundaki artış zamanla ölçülür. Bu sırada hava girişi tamamen kesilmiş ve yüzey havalandırmanın etkisini azaltmak için karıştırma hızı 20-50 rpm arasına düşürülmüştür. Oksijen alım hızı (OAH), hava akışı kesildikten sonra çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasından

belirlenir ve prosedür üretim prosesi boyunca birkaç dakika tekrarlanabilir. Bu şartlarda denklem şu şekildedir (Eş. 1):

$$\frac{dC}{dt} = -q_o \cdot X = OAH \quad (1)$$

Burada, OAH hava akışı kesildikten sonra zamana karşı çözünmüş oksijen konsantrasyonu eğrisinin eğiminden hesaplanır. Temel varsayım, test sırasında gaz ve sıvı arasında hiçbir oksijen değişiminin olmadığı ve gaz sirkülasyonu durdurulurken bağlantılı akış dinamiklerinde bir değişimin OAH’ nı etkilemediğidir. Hava tekrar verildiğinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu denge halindeki konsantrasyona kadar artar. Bu şartlarda hem oksijen transfer hızları (OTH) hem de oksijen alım hızı ifadeleri uygulanır. Dinamik metotta kütle denkliği yazılırsa (Eş. 2);

$$\frac{dC}{dt} = OTH - OAH \quad (2)$$

ya da (Eş. 3)

$$\frac{dC}{dt} = k_L a (C^* - C) + q_o X \quad (3)$$

Bu denklem çevrilerek aşağıda verilmiştir (Eş. 4);

$$C = -\frac{1}{k_L a} \left( \frac{dC}{dt} - q_o \right) + C^* \quad (4)$$

Burada k<sub>L</sub>, oksijen aktarım katsayısı (m s<sup>-1</sup>), a, gaz-sıvı ara yüzey alanıdır (m<sup>2</sup> m<sup>-3</sup>). k<sub>La</sub> hacimsel oksijen transfer katsayısı (s<sup>-1</sup>), C<sub>o</sub>\* doygunluk çözünmüş oksijen konsantrasyonu (g L<sup>-1</sup>), C<sub>o</sub> sıvı besiyerindeki gerçek çözünmüş oksijen konsantrasyonu (g L<sup>-1</sup>), X mikroorganizma konsantrasyonu (g L<sup>-1</sup>) ve q<sub>o</sub> (mg L<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) spesifik oksijen tüketim hızıdır.

Havalandırmanın kesildiği bu zaman periyodunda oksijen tüketim hızı q<sub>o</sub>, hesaplanmıştır. Biyoreaktöre havanın tekrar verilmesiyle çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artması sonucu Eşitlik 4. kullanılarak elde edilen eğrinin (C<sub>o</sub>, dC<sub>o</sub>/dt-q<sub>o</sub>) eğiminden k<sub>La</sub> değeri belirlenmiştir.

### Güç Gereksinimi Hesabı

Biyolojik bir proseste elde edilecek iyi sonuç, iyi bir karıştırmaya bağlıdır. Karıştırma iki veya daha fazla fazın gelişi güzel biri birinde dağıtılmasıdır.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

Mikroorganizmaların bir sıvı içinde karıştırılması, mikroorganizmaların sıvı ile sürekli temasını ve sıvı içinde askıda tutulmasını sağlar. Mikroorganizmaların sıvı içindeki süspansiyonu ve süspansiyonun hareket halinde muhafazası genel olarak parçacıkların çökme hızına bağlıdır. Bu da taneciklerin büyüklüğüne, şekline, yoğunluğuna, sıvının viskozitesi ve yoğunluğuna, çökmenin serbest veya engelli olup olmadığına bağlıdır. Genel olarak küçük ve 0.3 m dak<sup>-1</sup> lık bir çökme hızına sahip hafif tanecikler kolaylıkla süspansiyon edilebilirler. Bir karıştırılmalı kabın tasarımında karıştırıcıyı çevirmek için gerekli olan güç hesabı önemlidir. Bu, en basit sistemde dahi teorik olarak bulunamaz. Fakat boyutsal analiz yardımıyla hesaplanabilir. Sürüklenme kuvvetinin atalet kuvvetine oranı güç sayısı olarak adlandırılır (Eş. 5) (Dursun, 1998).

$$N_{Po} = \frac{P_g g_c}{n^3 D_a^5 \rho} \quad (5)$$

Karıştırma esnasında sisteme verilen güç (Eş. 6);

$$P = \frac{K_T n^3 D_a^5 \rho}{g_c} \quad (6)$$

Burada;

$N_{Po}$ : güç sayısı

$P_g$ : sisteme havalandırma yapıldığında güç gereksinimi (w)

$g_c$ : newton kanunu faktörü (kg m kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>)

$n$ : karıştırıcı devir sayısı (rpm)

$D_a$ : karıştırıcı çapı (cm)

$\rho$ : yoğunluk (g mL<sup>-3</sup>)

$K_T$ : sabit (6.3)

Bu ifade de hesaplanan güç, sistemde havalandırma olmadığı durumda sisteme verilen güçtür. Sisteme hava verildiğinde, havalandırma da bir miktar karıştırma sağladığından sistemin güç gereksiniminde karıştırma yapılmayan duruma kıyasla azalma olur. Her iki durumdaki güç tüketimi oranı havalandırma sayısının bir fonksiyonudur (Eş. 7-8).

$$\frac{P_g}{P} = f(N_a) \quad (7)$$

$$N_a = \frac{F}{n D_a^3} \quad (8)$$

F: hava akış hızı (vvm)

$N_a$ : havalandırma sayısı' dır.

Literatürde karıştırıcı türüne göre  $P_g/P$ ' ye karşı havalandırma sayısı grafikleri mevcuttur. Havalandırma sayısı bulunarak  $P_g/P$  karşı  $N_a$  grafiklerinden  $P_g/P$  oranının değeri belirlenerek  $P_g$  hesaplanabilir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Karıştırma Hızının Etkisi

Karıştırma, besiyerinin uygun şekilde karışmasını sağlar ve sistem verimliliğinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkiler, hücre duvarının bozulması, hücre morfolojisinde değişimler, substrat kullanımında, üreme hızında ve ürün oluşumu veriminde değişiklikler gibi faydalı ya da zararlı olabilir. Hücre bozulması; genelde tepkime kabındaki kayma geriliminin hücre duvarını kırmak için gerekli kuvvetten daha yüksek olduğu durumda oluşur. Ayrıca yüksek karıştırma hızlarında aşırı köpüklenme meydana gelir (Naik ve ark., 2008). Karıştırılmalı biyoreaktörde karıştırma hızı oksijen aktarımını etkileyen temel parametrelerden biridir.

0.1 vvm hava akış hızında, farklı karıştırma hızlarının (200, 300 ve 400 rpm) mikroorganizma özgül üreme hızı ve enzim aktivitesine etkisi incelenmiştir. Farklı karıştırma hızlarında elde edilen mikroorganizma özgül üreme hızları Şekil 2' de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 200, 300 ve 400 rpm' de elde edilen mikroorganizma özgül üreme hızları sırasıyla 0.0584, 0.0790 ve 0.0825 (sa<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Karıştırma hızının artmasıyla, mikroorganizma substrat temasının artması sonucu mikroorganizma özgül üreme hızı artmıştır.

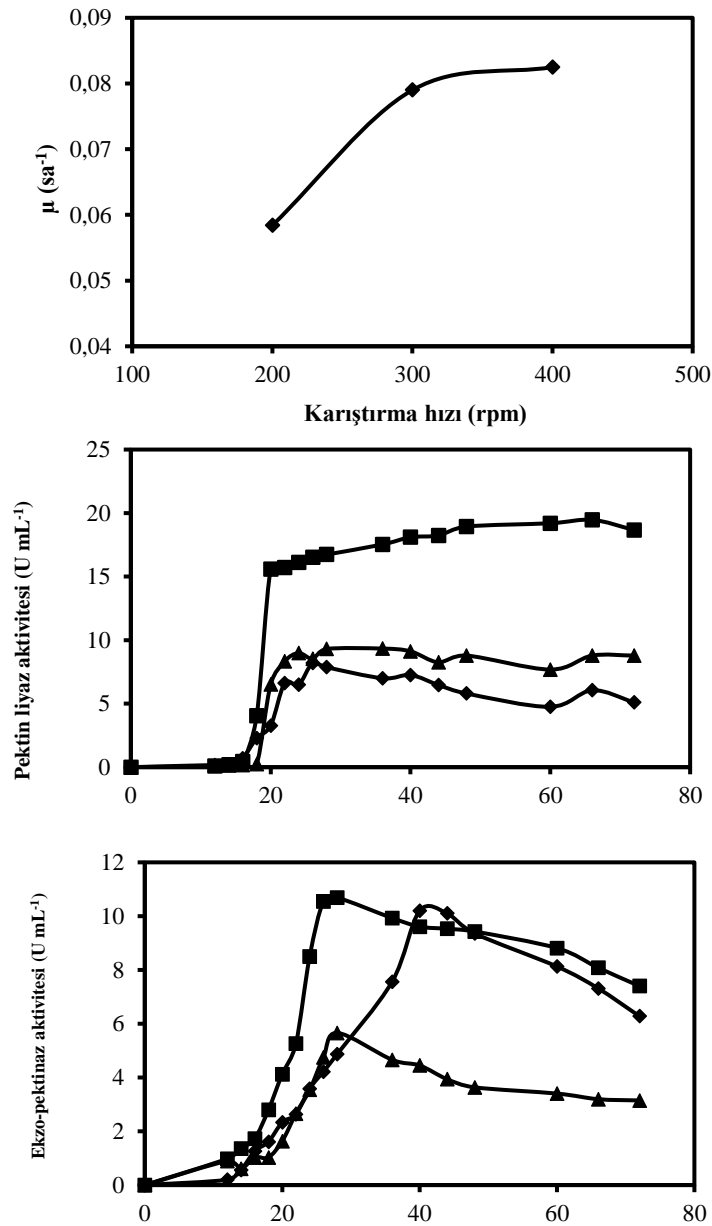
Pektin liyaz, endo ve ekzo-pektinaz aktivitelerinin zamanla ve karıştırma hızı ile değişimi Şekil 2' de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, en yüksek pektin liyaz aktivitesi 300 rpm' de 66. saatte 19.5, ekzo-pektinaz aktivitesi 28. saatte 10.69, endo-pektinaz aktivitesi 66. saatte 102.13 U mL<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu durum, düşük karıştırma hızında yetersiz karıştırma ya da oksijen kısıtlaması ile açıklanabilir (Kao ve ark., 2007). Çok yüksek karıştırma hızlarında ise, ortamdaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve makromoleküllerin dağılımı artmakta enzim aktiviteleri negatif olarak etkilenebilmektedir (Feng ve ark., 2003). Yüksek karıştırma hızlarında metabolit üretimindeki azalma,

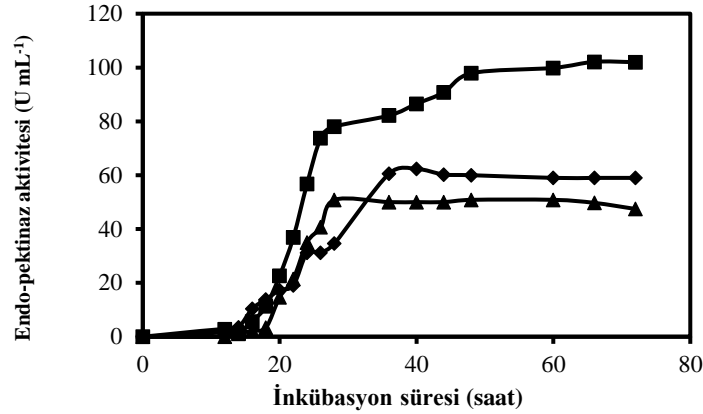
Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1028443

yüksek kayma gerilmelerine maruz kalan hücrelerin hasarı ve bozulmalarından kaynaklanmaktadır (Bandaiphet ve Prasertsan, 2006).

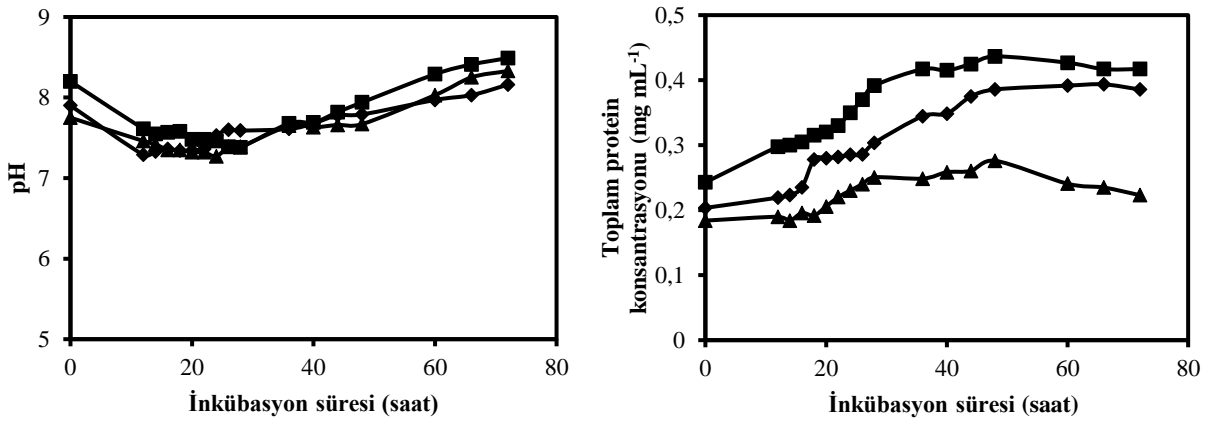
Öncü (2007) tarafından yapılan çalışmada, 500 rpm' de elde edilen maksimum biyokütlenin 200 ve 350 rpm' de elde edilenlerden sırasıyla 3.27 ve 3.67 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Maksimum enzim üretimini ise 200 rpm' de elde etmişlerdir. Oksijenin proses için sınırlayıcı bir adım olmadığını ve enzim sentez metabolizması ile bunun kısmen bağlantılı olduğunu açıklamışlardır. Benzer sonuçlar Songpim ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada da

kaydedilmiştir. Songpim ve ark. (2010) *P. polymyxa* ile pektat liyaz aktivitesini etkileyen parametreleri optimize etmek için tepki yüzey metodunu kullanmışlar ve 200 rpm ve üzerindeki karıştırma hızlarında enzim üretiminin azaldığını tespit etmişlerdir. Lee ve ark. (2010) ise, pirinç kabuğundan karboksimetilselülaz üretimini optimize ettikleri çalışmalarında, yüksek karıştırma hızlarının karboksimetilselülaz üretimini inhibe ederken *B. subtilis* subsp. *subtilis*' in hücre üremesini teşvik ettiğini belirtmişlerdir.





**Şekil 2.** Farklı karıştırma hızlarında elde edilen mikroorganizma özgül üreme hızları ve enzim aktivitelerinin zamanla değişimi (pH=8, T: 30 °C, Hava akış hızı: 0.1 vvm, ◆:200 rpm, ■:300 rpm, ▲:400 rpm)



**Şekil 3.** Farklı karıştırma hızlarında ortam pH' ı ve toplam protein konsantrasyonunun zamanla değişimi (pH=8, T: 30 °C, Hava akış hızı: 0.1 vvm, ◆: 200 rpm, ■: 300 rpm, ▲: 400 rpm)

pH ve toplam protein miktarının inkübasyon süresi ile değişimi Şekil 3' de verilmiştir. Ortamın pH değeri inkübasyon süresi ile önce azalmış, belli değere geldikten sonra artmaya başlamıştır. Biyoreaktörde havalandırılmalı şartlarda hızlı bir pH düşüşü ve ardından alkalinizasyon görülmüştür. Benzer durum Venugopal ve ark. (2007) tarafından termofilik mantar *Mycotypha* sp. AKM 1801 ile kahve posasından endo-pektinaz üretiminde havalandırmanın etkisinin araştırıldığı çalışmada da gözlenmiştir. Toplam protein konsantrasyonu enzim aktiviteleri ile paralel olarak en fazla 300 rpm karıştırma hızında elde edilmiştir. Maksimum protein miktarı 48. saatte 0.44 mg mL<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Daha sonraki biyoreaktör deneylerinde karıştırma hızı olarak, en yüksek enzim aktivitelerinin elde edildiği 300 rpm seçilmiştir.

Biyoreaktör deneylerinde daha yoğun bir karıştırma uygulandığından fermantasyon süresi

kısalır. Fermantasyon zamanının kısalması ve ürün oluşumunun artması üretim maliyetlerini azalttığından biyoreaktörlerde enzim üretimi çok avantajlıdır (Gummadi ve Kumar, 2006). Benzer sonuç, Gummadi ve Kumar (2008) tarafından biyoreaktörde yapılan *Debaryomyces nepalensis* ile pektin liyaz üretimi çalışmasında da gözlenmiş, fermantasyon süresi 95 saatten 65 saate azalmıştır.

#### Hava Akış Hızının Etkisi

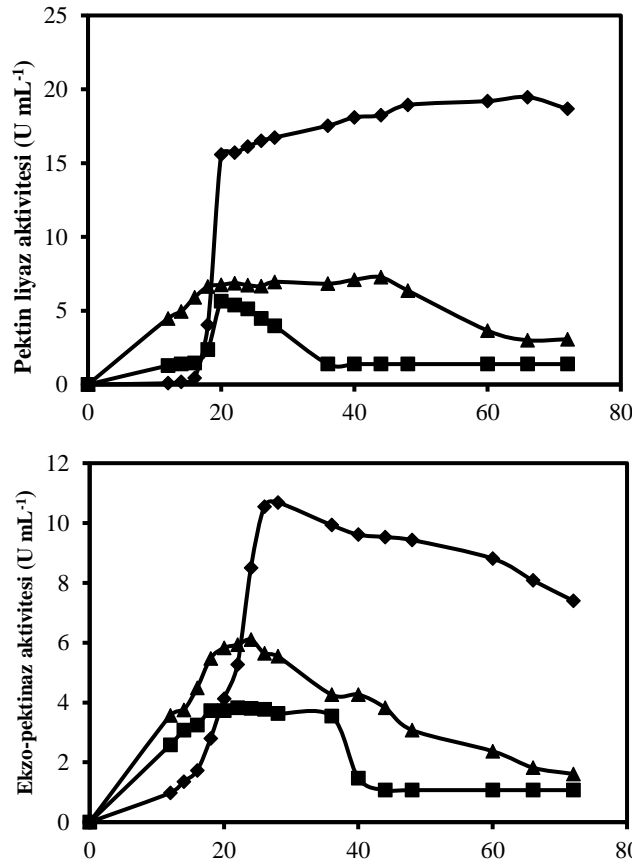
Sulu çözeltilerde oksijen, çözünürlüğünün az olmasından dolayı hız sınırlayıcı faktördür ve aerobik fermantasyonlarda hücre büyümesini, ürün verimini etkiler (Potumarthi ve ark., 2007). Fermantasyon ortamında çözünmüş oksijen konsantrasyonu, gaz fazdan sıvı faza oksijen transfer hızına, mikroorganizmanın oksijen alım hızına ve oksijen tüketim hızına bağlıdır. Fermantasyon sırasında oksijen transferi; hava kabarcıklarından ortama,

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1028443

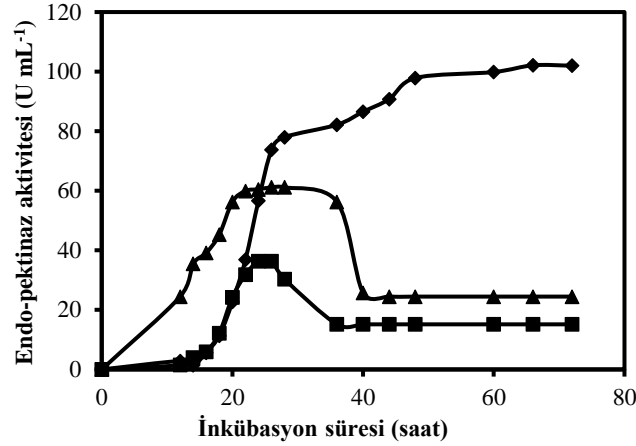
hücrelere ve hücre içinde reaksiyon bölgesine transfer ile gerçekleşir. Oksijen transferi, hava akış hızının artması ile artar (Naik ve ark., 2008). Ancak, yüksek hava akış hızlarında hücre hasarı sonucu inhibisyon oluşabilir (Fadzilah ve Mashitah, 2010).

Optimize edilmiş derin kültür fermantasyon ortamı kullanılarak 300 rpm karıştırma hızında, farklı hava akış hızlarının (0.1, 0.15 ve 0.2 vvm) enzim aktiviteleri üzerine etkisi incelenmiştir. Pektin liyaz, endo ve ekzo-pektinaz aktivitelerinin zamanla ve hava akış hızı ile değişimi Şekil 4' de sunulmuştur. Şekillerden de görüldüğü gibi en yüksek pektin liyaz aktivitesi 0.1 vvm' de 66. saatte 19.5, ekzo-pektinaz aktivitesi 28. saatte 10.69, endo-pektinaz aktivitesi 66. saatte 102.13 U mL<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir. Hava akış hızının artması ile enzim aktivite değerlerindeki düşme enzim proteini moleküllerinin oksidasyonu ile açıklanabilir (Naik ve ark., 2008). Benzer sonuç, Songpim ve ark. (2010) tarafından, *P. polymyxa* ile pektat liyaz üretimi üzerine yapılan bir çalışmada

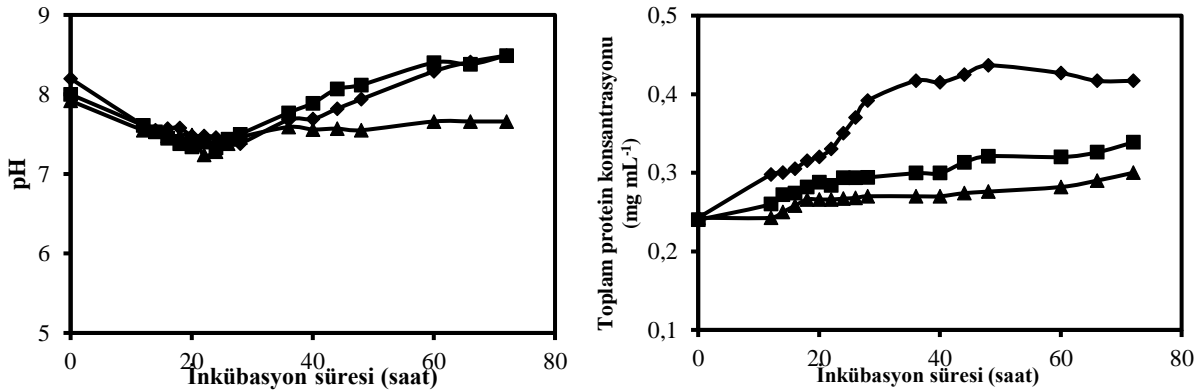
gözlenmiş, 1.0 vvm' nin üzerindeki havalandırma hızlarında enzim üretiminin inhibe olduğu belirtilmiştir. Çözülmüş oksijen konsantrasyonu yaklaşık olarak 4 mg L<sup>-1</sup>' nin üzerine çıktığında *Bacillus pumilus* ile pektinaz sentezinin baskılandığı gözlenmiştir. Cruz-Guerrero ve ark. (1999) 3.3 mg L<sup>-1</sup> çözülmüş oksijen konsantrasyonunda *K. marxianus* ile endo poligalakturonaz üretiminin tamamen baskılandığını gözlemişlerdir. Farklı hava akış hızlarında pH değerinin ve toplam protein miktarının inkübasyon süresi ile değişimi Şekil 5' de verilmiştir. Ortamın pH değeri inkübasyon süresi ile önce az miktarda azalmış daha sonra artarak başlangıç pH değerine yakın değerlere ulaşmıştır. En yüksek toplam protein konsantrasyonu ise yine 0.1 vvm hava akış hızında elde edilmiş ve 48. saatte 0.44 mg mL<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1028443



Şekil 4. Farklı hava akış hızlarında enzim aktivitelerinin zamanla değişimi (pH= 8, T: 30 °C, Karıştırma hızı: 300 rpm, ◆: 0.1 vvm, ■: 0.15 vvm, ▲: 0.2 vvm)



Şekil 5. Farklı hava akış hızlarında ortam pH' ı ve toplam protein konsantrasyonunun zamanla değişimi (pH= 8, T: 30 °C, Karıştırma hızı: 300 rpm, ◆: 0.1 vvm, ■: 0.15 vvm, ▲: 0.2 vvm)

### Oksijen Transfer Parametreleri

Sulu çözeltilerde oksijen, çözünürlüğünün az olmasından dolayı hız sınırlayıcı faktördür ve aerobik fermantasyonlarda hücre büyümesi ve ürün verimini etkiler. Reaktörlerin işletme ve geometrik özellikleri, ortam bileşimi, viskozite, yüzey gerilimi, konsantrasyon, mikroorganizma morfolojisi ve hava kabarcıklarının yüzeyel alanı gibi birçok faktöre bağlı olan  $k_{La}$ , biyoreaktörlerin karıştırma-dağıtma ekipmanlarının dizayn ve işletiminde önemli bir parametredir (Marques ve ark., 2009).

Oksijen aktarım parametreleri olan oksijen tüketim hızı ( $q_o$ ) ve hacimsel oksijen transfer katsayısını ( $k_{La}$ ) bulmak için dinamik metot kullanılmıştır. 300 ve 400 rpm' de elde edilen sonuçlar Tablo 2' de verilmiştir. 200 rpm' de oksijen konsantrasyonu çok düşük olduğu için oksijen tüketim hızı ve hacimsel sıvı faz oksijen transfer katsayısı hesaplanamamıştır. Tablo 2' de görüldüğü

gibi, hacimsel oksijen transfer katsayısı değeri karıştırma hızının artmasıyla artmıştır. Bu etki, karıştırma hızındaki artış ile daha küçük boyutlu hava kabarcıklarının hızlıca parçalanması ve kütle transferi için mevcut gaz-sıvı ara yüzeyindeki artışa bağlanabilir (Gomez ve ark., 2006; Orman, 2007). 300 rpm karıştırma hızında en yüksek  $k_{La}$  değeri 26. saatte  $0.1524 s^{-1}$ , 400 rpm' de 60. saatte  $0.2623 s^{-1}$  olarak kaydedilmiştir. Ayrıca,  $k_{La}$  değeri inkübasyon süresince önce artmış sonra ise azalmıştır.  $k_{La}$  değeri sıvının viskozitesinin artmasıyla azalır (Garcia-Ochoa ve Gomez, 2009).  $k_{La}$  değerindeki değişimler inkübasyon süresi boyunca fermantasyon sıvısının viskozitesindeki değişimlere bağlanabilir. Nur Asshifa ve ark. (2017) karıştırılmalı bir tank biyoreaktörde *Pseudomonas aeruginosa* ile rhamnolipid üretiminde karıştırma hızının oksijen transferi üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, karıştırma hızının 400 rpm' den 500

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

rpm' ye yükseldiğinde,  $k_{La}$  değerinin de 48.21' den 70.38  $sa^{-1}$ ' e yükseldiğini ifade etmişlerdir. Tablo 2' de inkübasyon süresince kuru mikroorganizma derişimi ile oksijen tüketim hızının değişimi de görülmektedir. Üstel üreme bölgesinde oksijen tüketim hızı zamanla artmış, üstel üreme bölgesinden sonra ise azalmıştır. İnkübasyon süresince oksijen tüketim hızının değişimi mikrobiyal büyümeye paralellik göstermektedir. Üstel üreme bölgesinde oksijen tüketim hızı mikroorganizmanın üstel büyüme fazında en yüksek değere ulaşmış, daha sonra da düşüş göstermiştir. Biyoproseslerde, mikroorganizma konsantrasyonundaki artışla oksijen tüketim hızının artması beklenen bir sonuçtur. Literatürde yapılan birçok çalışmada da, mikroorganizmanın üstel büyüme fazında oksijen tüketim hızı artmış, durağan fazda ve karbon kaynağının tükendiği durumlarda ise bu değer azalma göstermiştir (Ulgen ve Mavituna, 1998; Nur Asshifa ve ark., 2017). Li ve ark. (2018) *Escherichia coli* BL21 ile  $\alpha$ -siklodekstrin glikoziltransferaz üretimini inceledikleri çalışmalarında, logaritmik fazda oksijen tüketim hızının çok hızlı arttığını ifade etmişlerdir. Karıştırma hızı arttırıldığında ise oksijen tüketim hızında azalma meydana gelmiştir. 300 rpm

karıştırma hızında maksimum oksijen tüketim hızı 26. saatte 0.0185  $mg L^{-1} s^{-1}$ , 400 rpm değerinde en yüksek oksijen tüketim hızı ise 36. saatte 0.0151  $mg L^{-1} s^{-1}$  olarak kaydedilmiştir.

### Karıştırma İçin Gerekli Güç Hesabı

*Bacillus pumilus* ile biyoreaktörde pektinaz grubu enzimlerden ekzo-pektinaz, endo-pektinaz ve pektin liyaz üretiminde, değişik karıştırma kap Reynolds sayılarında ( $N_{Re,k}$ ) hesaplanan güç ( $P_g$ ) değerleri, güç sayılarının ( $N_{Po}$ ) bulunmasında kullanılmış, Eşitlik 5.' den hesaplanan güç sayıları, karıştırıcıya bağlı Reynolds sayısına karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 6' da verilmiştir. Optimum 300 rpm' de, sisteme hava gönderilmediği durumdaki güç  $P = 2.05 W$  olarak hesaplanmış, daha sonra havalandırmanın yapıldığı durumda ki güç değeri  $P_g = 1.95 W$  olarak bulunmuştur. Havalandırma da bir miktar karıştırma sağladığından sisteme hava gönderildiği durumdaki güç değerinin düşmesi beklenen bir sonuçtur. Birim hacim için verilmesi gerekli güç miktarı ise  $390 w m^{-3}$  olarak hesaplanmıştır.

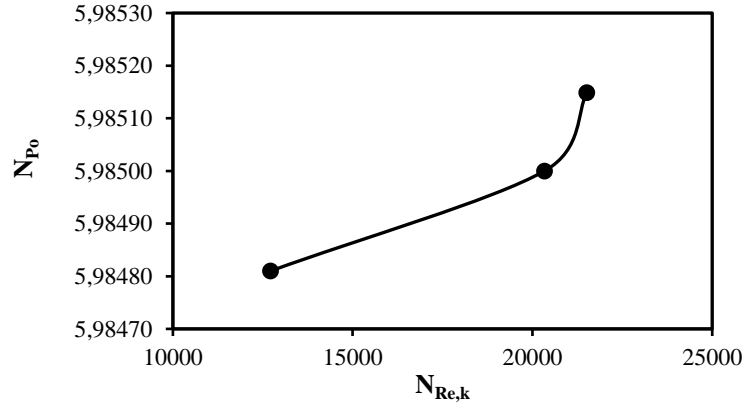
**Tablo 2.** Farklı karıştırma hızlarında  $k_{La}$  ve  $q_o$  değerlerinin zamanla değişimi

Karıştırma Hızı (rpm)	Zaman (saat)	X ( $g L^{-1}$ )	$q_o$ ( $mg L^{-1} s^{-1}$ )	$k_{La}$ ( $s^{-1}$ )
300 rpm 0.1 vvm	12	2.72	0.0098	0.0704
	16	3.60	0.0078	0.1006
	20	4.72	0.0138	0.0815
	22	5.20	0.0140	0.0769
	24	5.82	0.0151	0.1004
	26	7.26	0.0185	0.1524
	28	7.19	0.0161	0.1101
	36	8.76	0.0135	0.0944
	40	9.37	0.0125	0.0790
	44	10.01	0.0117	0.0727
	48	10.30	0.0098	0.0878
	60	10.80	0.0047	0.0932
	64	11.08	0.0046	0.1242
	68	9.57	0.0050	0.1095
72	9.56	0.0049	0.1089	
400 rpm 0.1 vvm	12	2.49	0.0109	0.2038
	14	3.06	0.0105	0.2134
	16	4.18	0.0104	0.2202
	18	4.15	0.0082	0.2236
	20	4.82	0.0100	0.2142
	22	5.84	0.0111	0.1784
	24	6.43	0.0145	0.1613
	26	6.82	0.0140	0.1776
	28	8.22	0.0122	0.2147
	36	10.39	0.0151	0.2249
40	12.60	0.0121	0.2265	



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1028443

44	12.93	0.0070	0.2462
48	13.24	0.0056	0.2203
60	14.72	0.0041	0.2623
66	13.67	0.0027	0.2602
72	13.71	0.0026	0.2540



Şekil 6. Reynolds sayısı ile güç sayısının değişimi

## SONUÇ

Bu çalışmada, kullanılan kesikli karıştırıcı biyoreaktörün *Bacillus pumilus* ile pektin liyaz, endo-pektinaz ve ekzo-pektinaz üretimi için faydalı olduğu ve pektinaz üretiminin karıştırma ve hava akış hızı ile etkilendiği ortaya çıkarılmıştır. En yüksek pektin

liyaz, ekzo-pektinaz ve endo-pektinaz aktivitesi değerleri 300 rpm' de ve 0.1 vvm' de elde edilmiştir. Hacimsel oksijen transfer katsayısı  $k_{La}$  inkübasyon süresi ve karıştırma hızına bağlı olarak ayrıca Reynolds sayısına bağlı olarak da güç sayısı değişmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın büyük bölümü Özlem Tepe' nin Doktora Tezinden türetilmiştir. Yazarlar 1674 nolu proje ile bu çalışmaya verdiği destekten dolayı FÜBAP' a teşekkür ederler

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Ahmed, J., Thakur, A., Goyal A. (2021). Emerging trends on the role of recombinant pectinolytic enzymes in industries-an overview. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 38, 102200.
- Aksöz, E. ve Aksöz, N. (1985). Pektik enzimler. *Biyokimya Dergisi*, 10 (1), 38-51.
- Amin, F., Bhatti, H.N., Bilal, M. (2019). Recent advances in the production strategies of microbial pectinases-

A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 1017–1026.

- Bandaipheth, C. ve Prasertsan, P. (2006). Effect of aeration and agitation rates and scale-up on oxygen transfer coefficient  $k_{La}$  in exopolysaccharide production from *Enterobacter cloacae* WD7. *Carbohydrate Polymers*, 66, 216–228.
- Bandyopadhyay, B. ve Humphrey, A.E. (1967). Dynamic measurement of the volumetric oxygen transfer coefficient in fermentation systems. *Biotechnology and Bioengineering*, IX, 533-544.
- Cruz-Guerrero, A., Barzana, E., Garcia-Garibay, M. ve Gomez-Ruiz, L. (1999). Dissolved oxygen threshold for the repression of endo-polygalacturonase production by *Kluyveromyces marxianus*. *Process Biochemistry*, 34, 621–624.
- Demirci, Y. (2006). Reaksiyon mühendisliği prensipleriyle rekombinant L-Fenilalanin üretimi için biyoproses geliştirilmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Dursun, A.Y. (1998). Atıksulardaki ağır metal-siyanür kompleks iyonlarının serbest ve tutuklanmış *Pseudomonas fluorescens* ile biyolojik arıtımının kesikli ve sürekli sistemlerde karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi. Doktora Tezi.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

- Fadzilah, K. ve Mashitah, M.D. (2010). Cellulases production in palm oil mill effluent: effect of aeration and agitation. *Journal of Applied Sciences*, 10 (24), 3307-3312.
- Fasim, A., More, V.S., More, S.S. (2021). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. *Current Opinion in Biotechnology*, 69, 68–76.
- Favela-Torres, E., Volke-Sepulveda, T. ve Viniegra-Gonzales, G. (2006). Production of hydrolytic depolymerising pectinases. *Food Technology Biotechnology*, 44 (2), 221–227.
- Feng, Y., He, Z., Ong, S.L., Hu, J., Zhang, Z. ve Ng W.J. (2003). Optimization of agitation, aeration, and temperature conditions for maximum  $\beta$ -mannanase production. *Enzyme and Microbial Technology*, 32, 282–289.
- Ferreira, P., Lopes, M., Mota, M., Belo, I. (2016). Oxygen mass transfer impact on citric acid production by *Yarrowia lipolytica* from crude glycerol. *Biochemical Engineering Journal*, 110, 35–42.
- Garcia-Ochoa, F. ve Gomez, E. (2009). Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: an overview. *Biotechnology Advances*, 27, 153–176.
- Garcia-Ochoa, F., Gomez, E., Santos, V.E. ve Merchuk, J.C. (2010). Oxygen uptake rate in microbial processes: an overview. *Biochemical Engineering Journal*, 49, 289–307.
- Gomez, E., Santos, V.E., Alcon, A. ve Garcia-Ochoa, F. (2006). Oxygen transport rate on *Rhodococcus erythropolis* cultures: effect on growth and BDS capability. *Chemical Engineering Science*, 61, 4595–4604.
- Gummadi, S.N. ve Kumar, D.S. (2006). The effect of microbiological parameters on production of pectin lyase and pectate lyase by *Debaryomyces nepalensis*: A statistical approach. *Research Journal of Microbiology*, 1(3), 220-227.
- Gummadi, S.N. ve Kumar, D.S. (2008). Batch and fed batch production of pectin lyase and pectate lyase by novel strain *Debaryomyces nepalensis* in bioreactor. *Bioresource Technology*, 99, 874–881.
- Haykır, I. (2007). Investigation of bioprocess parameters for glucose isomerase production by *Bacillus thermoantarcticus*, Middle East Technical University, Yüksek Lisans Tezi.
- Hoondal, G.S., Tiwari, R.P., Tewari, R., Dahiya, N. ve Beg, Q.K. (2002). Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 409–418.
- Ibrahim, C.O. (2008). Development of applications of industrial enzymes from Malaysian indigenous microbial sources. *Bioresource Technology*, 99, 4572–4582.
- John, J., Surendranathan Kaimal, K.K., Smith, M.L., Rahman, P.K.S.M., Chellam, P.V. (2020). Advances in upstream and downstream strategies of pectinase bioprocessing: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 162 1086–1099.
- Kao, P.-M., Chen, C.-I., Huang, S.-C., Chang, Y.-C., Tsai, P.-J. ve Liu, Y.-C. (2007). Effects of shear stress and mass transfer on chitinase production by *Paenibacillus* sp. CHE-N1. *Biochemical Engineering Journal*, 34, 172–178.
- Kashyap, D.R., Vohra, P.K., Chopra, S. ve Tewari, R. (2001). Applications of pectinases in the commercial sector: a review. *Bioresource Technology*, 77:215-227.
- Kirk, O., Borchert, T.V. ve Fuglsang, C.C. (2002). Industrial enzyme applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 345–351.
- Korkmaz, N. (2007). Recombinant therapeutic protease production by *Bacillus* sp., Middle East Technical University, Yüksek Lisans Tezi.
- Lee, B.-H., Kim, B.-K., Lee, Y.-J., Chung, C.H. ve Lee, J.-W. (2010). Industrial scale of optimization for the production of carboxymethylcellulase from rice bran by a marine bacterium, *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* A-53. *Enzyme and Microbial Technology*, 46, 38–42.
- Li, X., Xu, C.-Q., Luo, Y.-D., Zhang, S., Huang, C., Zou, K., Tan, Y.-L., Wu, Y.-X., Deng, Z.-S. (2018). Influence of the flow field on  $\alpha$ -cyclodextrin glycosyltransferase production by *Escherichia coli* BL21. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41, 819–829.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. ve Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265-75.
- Marques, D.A.V., Torres, B.R., Porto, A.L.F., Pessoa-Júnior, A. ve Converti, A. (2009). Comparison of oxygen mass transfer coefficient in simple and extractive fermentation systems. *Biochemical Engineering Journal*, 47, 122–126.
- Mill, P.J. ve Tuttobello, R. (1961). The pectic enzymes of *Aspergillus niger* 2. Endo polygalacturonase. *Biochemical Journal*, 79, 57-64.
- Miller, G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428.
- Mishra, S., Kumar, V., Sarkar, J., Rathore, A.S. (2021). CFD based mass transfer modeling of a single use bioreactor for production of monoclonal antibody biotherapeutics. *Chemical Engineering Journal*, 412, 128592.
- Naik, S.C., Kaul, P., Barse, B., Banerjee, A. ve Banerjee, U.C. (2008). Studies on the production of enantioselective nitrilase in a stirred tank bioreactor

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1028443

- by *Pseudomonas putida* MTCC 5110. *Bioresource Technology*, 99, 26–31.
- Nedjma, M., Hoffmann, N. ve Belarbi, A. (2001). Selective and sensitive detection of pectin lyase activity using a colorimetric test: application to the screening of microorganisms possessing pectin lyase activity. *Analytical Biochemistry*, 291, 290–296.
- Nur Asshifa, M.N., Zambry, N.S., Salwa, M.S., Yahya, A.R.M. (2017). The influence of agitation on oil substrate dispersion and oxygen transfer in *Pseudomonas aeruginosa* USM-AR2 fermentation producing rhamnolipid in a stirred tank bioreactor. *3 Biotech*, 7, 189.
- Ogawa, J. ve Shimizu, S. (2002). Industrial microbial enzymes: their discovery by screening and use in large-scale production of useful chemicals in japan. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 367–375.
- Olughu, W., Galbraith, D., Paget, C., Ruscoe, S., Smith, J., Mason, A. (2021). Does the BioBLU 0.3f single-use scale to the BioFlo® 320 reusable bioreactor on a matched volumetric oxygen mass transfer coefficient? *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 11.
- Orman, M.A. (2007). Extracellular recombinant human growth hormone production by *Pichia pastoris*. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yüksek Lisans Tezi.
- Ozzybek, M., Cekmecelioglu, D. (2022). Formulation of apple pomace, orange peel, and hazelnut shell mix for co-production of bacterial pectinase and cellulase enzymes by mixture design method, *Biomass Conversion and Biorefinery*, doi.org/10.1007/s13399-022-02409-0.
- Öncü, Ş. (2007). Investigation of the effects of dissolved oxygen concentration, aeration and agitation on the morphology and rheology in submerged fungal fermentation, İzmir Institute of Technology, Master Thesis.
- Potumarthi, R., Subhakar, C. ve Jetty, A. (2007). Alkaline protease production by submerged fermentation in stirred tank reactor using *Bacillus licheniformis* NCIM-2042: effect of aeration and agitation regimes. *Biochemical Engineering Journal*, 34, 185–192.
- Ramachandran, S. (2005). Isolation, purification and characterization of pectinase from *Penicillium citrinum*, School of Biosciences Mahatma Gandhi University Kottayam, Kerala India, Doctoral Thesis.
- Reid, I. ve Ricard, M. (2000). Pectinase in paper making: solving retention problems in mechanical pulps bleached with hydrogen peroxide. *Enzyme and Microbial Technology*, 26, 115–123.
- Shuler, M.L. ve Kargı, F. (2002). *Bioprocess engineering: basic concepts* (2nd Ed.). Prentice Hall Inc., USA.
- Soetaert, W. ve Vandamme, E. (2006). The impact of industrial biotechnology. *Biotechnology Journal*, 1, 756–769.
- Songpim, M., Vaithanomsat, P. ve Chuntranuluck, S. (2010). Optimization of pectate lyase production from *Paenibacillus polymyxa* N10 using response surface methodology. *The Open Biology Journal*, 3, 1-7.
- Tuttobello, R. ve Mill, P.J. (1961). The pectic enzymes of *Aspergillus niger* 1. the production of active mixtures of pectic enzymes. *Biochemical Journal*, 79, 51-57.
- Ulgen, K. ve Mavituna, F. (1998). Oxygen transfer and uptake in *Streptomyces coelicolor* A3(2) culture in a batch bioreactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 73, 243-250.
- Venugopal, C., Jayachandra, T. ve Anu Appaiah, K.A. (2007). Effect of aeration on the production of endo-pectinase from coffee pulp by a novel thermophilic fungi *Mycotypha* sp. strain No. AKM 1801. *Biotechnology*, 6(2), 245-250.
- Willants, W.G., Mc Cartney, L., Mackie, W. ve Knox, J.P. (2001). Pectin: cell biology and structural prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology*, 47(1-2), 9-27.
- Yılmaz, Ö.D. (2008). Metabolik mühendislik ve reaksiyon mühendisliği prensipleriyle hücre dışı rekombinant insan büyüme hormonu üretimi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

## Elâzığ İlinin Mevcut Hayvan Sayısı ile Meralarının ve Yem Bitkisi Ekim Alanlarının Durumu

Halil Karan<sup>1\*</sup>, Mehmet Başbağ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Sivrice Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Elâzığ, Türkiye

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

\*hkaran@firat.edu.tr<sup>ORCID</sup>, mbasbag@dicle.edu.tr<sup>ORCID</sup>

Makale gönderme tarihi: 28.10.2021, Makale kabul tarihi: 16.03.2022

### Öz

Ülkemizdeki nüfus artışına bağlı olarak hayvansal proteine duyulan ihtiyaç da artmıştır. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için eldeki mevcutların iyi bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Herkesin hayvansal kaynaklı proteine kolay ve ucuz olarak ulaşabilmesi ancak hayvancılığın en büyük girdisi olan yemi ucuz olarak sağlayan meraların doğru ve düzenli olarak kullanılmasına ve yem bitkisi üretim alanlarının artırılmasına bağlıdır. Meraları doğru kullanmak için öncelikle merada otlayacak hayvan kapasitesinin bilinmesi, kapasite üstü hayvanlarla otlatmanın yapılmaması ve daha da önemlisi otlatma mevsimine bağlı kalınması gerekir.

2019 yılında Elazığ'da 232.411 BBHB varlığının olduğu, buna karşın yem değeri düşük kaba yemlerde dahil edilse dahi 534.082.634 kg yem açığı olduğu görülmektedir. İl'in toplam tarım alanının %3.6'sında yem bitkisi üretimi yapıldığı, bu oranın gelişmiş ülkelerin çok çok gerisinde kaldığı, yem açığının giderilmesi için acilen yem bitkisi üretim alanlarının artırılması sağlanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Elazığ, BBHB, yem açığı, otlatma kapasitesi

## The Current Number of Animals and the Situation of Pastures and Forage Crops Planting Areas in Elazig Province

### Abstract

Depending on the population growth in our country, the need for animal protein has also increased. In order to meet these needs, it is necessary to make good use of the existing ones. Everyone's ability to access protein of animal origin easily and cheaply depends on the correct and regular use of pastures that provide cheap feed, which is the biggest input of animal husbandry, and increasing forage crop production areas. In order to use the pastures correctly, first of all, it is necessary to know the capacity of the animals to graze in the pasture, not to graze with over-capacity animals, and more importantly, to adhere to the grazing season.

In 2019, it is seen that there is 232,411-BBHB in Elazig, but there is a feed deficit of 534,082,634 kg even if it is included in roughages with low feed value. Forage crops are produced in 3.6% of the province's total agricultural area, this rate is far behind the developed countries, and forage crop production areas should be increased urgently in order to eliminate the feed deficit.

**Keywords:** Elazig, animal unit, feed deficit, grazing capacity

## GİRİŞ

Dünya tarım alanlarının %72'sini, kara parçasının %27'sini meralar oluşturmaktadır (Avcıoğlu ve ark., 2010). Ülkemizin toplam tarım alanlarının ise %38'ini çayır meralar oluşturmaktadır (Anonim, 2014). Ülkemiz çayır meralarının %34.8'i Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır (Altın ve ark., 2011). Elazığ İl sınırları içerisinde 226.034 ha çayır-mera alanı (Anonim, 2021) bulunmakla birlikte ilin toplam alanının %24.7'ini oluşturmaktadır. Ülkelerin en önemli doğal kaynaklarından biri olan çayır-mera alanları yalnızca tarımsal alanda değil, ekonomik alanda da önemli bir role sahiptir (Gençkan, 1992). Ülkemizdeki çayır-mera alanları yıllarca amaç dışı kullanılmış, zamansız ve aşırı otlatma sonucu arazi yüzeyi kuru ve bitki örtüsünden yoksun kalmıştır. Bu alanlardaki değerli yem bitkilerinin yerini, yabancı ot niteliğindeki kalitesi düşük bitki türleri almıştır (Bakır ve Açıkgöz, 1976).

Ülkemizin genelinde olduğu gibi bölge insanının da bilinçsiz, aşırı ve zamansız şekilde otlatma yapması mera alanlarının bozulmalarına neden olmuştur. Çayır-mera alanlarının plansız bir şekilde kullanılması, herhangi bir amenajman ilkesine uyulmaması ve yağış rejimindeki düzensizlikler sonucunda mera alanlarımızın verim ve kaliteleri düşmüş, ayrıca çıplak sahalarda ve eğimli arazilerde erozyonun etkisi görülmüş, mevcut hayvanların yem ihtiyacını karşılayamaz duruma gelmiştir. Ülkemizde ve dolayısıyla ilimizde meraların durumları belirlenerek gerekli ıslah çalışmalarının yapılması kaçınılmaz olmuştur.

İlimizdeki çayır-mera alanlarının ve mevcut hayvan varlığının bilinmesi, kaba yem ihtiyacının belirlenmesinde kontrollü bir hayvancılık için önemlidir. Yıllara göre değişkenlik gösteren meralar; özellikle düzenli yağışın olduğu yıl ile az ve düzensiz yağışın düştüğü farklı bir yılda meraların otlatma kapasitesinin değiştiği görülmüştür (Karan ve Başbağ, 2017). Meraların uzun yıllar otlatma kapasitesinin bilinmesi meraların geleceği için önem arz etmektedir. 4342 sayılı kanun gereği belli bir alanda ve eşit zaman aralıkları ile uzun yıllar bitki örtüsüne, toprak, su ve diğer tabii kaynaklara zarar vermeden otlatılabilecek büyükbaş hayvan birimi (BBHB) miktarının (Anonim, 2017) belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu da ancak meralarımızdaki mevcutlarımızın (yem miktarı) ne olduğu ve ne kadar hayvana ev sahipliği

yapabileceğini yıllara göre hesaplamakla mümkün olacaktır.

Bu derleme çalışması; Elazığ İlinin mevcut hayvan sayısı, mera durumu ve yem bitkilerinin ekiliş alanlarının il hayvancılığındaki önemi ile birlikte gelecekte daha doğru kararların alınmasına yardımcı olmak amacıyla yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Elazığ İlinin Coğrafi Durumu

Elazığ İli Doğu Anadolu Bölgesinin güneybatısında, Yukarı Fırat Bölümünde yer almaktadır. Toplam alanı 9151 km<sup>2</sup>'yi bulan ve bu alanı ile Türkiye topraklarının % 1.2'sini meydana getiren il sahası, 40° 21 ile 38° 30 doğu boylamları, 38° 17 ile 39° 11 kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Elazığ İli topraklarının doğu-batı doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 150 km, kuzey-güney yönündeki genişliği ise yaklaşık 65 km civarındadır (Anonim, 2018a).

İl, merkez ilçe ile birlikte 11 ilçe, 537 köy ve 709 mezradan oluşmaktadır (Anonim, 2018b). Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve sert geçen Elazığ'da sıcaklık -15°C ile +42°C arasında seyretmektedir. Yıllık yağış ortalaması 433 mm'dir. En fazla yağış ilkbahara aittir (Anonim, 2018c).

### Türkiye ve Elazığ İlinin BBHB Hayvan Varlığı

Ülkemizdeki ve ilimizdeki hayvan varlıklarının BBHB'ye çevrimleri yapılırken sığır-yerli için 0.50, sığır-kültür için 1.00, sığır-melez için 0.75, manda için 0.90, at için 0.50, eşek için 0.30, katır için 0.40, koyun-yerli için 0.10 ve keçi-kıl için 0.08 katsayıları dikkate alınarak BBHB'ne (Anonim, 2018d) çevrimleri yapılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Elazığ İlindeki hayvan sayısı (BBHB olarak) 2009 yılında Türkiye genelinde bulunan hayvan sayısının %1.01'ini oluştururken, 2019 yılında %0.16 artışla %1.17'sini oluşturduğu görülmüştür. 2009-2019 yılları arasında hayvan sayısı (BBHB) Türkiye genelinde %78.3 oranında bir artış gösterirken Elazığ'da bu yıllar arasında %105.8'lik bir artışın olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu artışın, ülkenin ihtiyacı olan et ve süt üretimine ilin önemli katkısının bulunduğu söylenebilir.

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

**Tablo 1.** Türkiye Geneli BBHB (2009-2019)\*

Hayvan Türü	YILLAR										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sığır (Yerli)	1.297.167	1232361	1214585	1229700	1174244	991708	937463	866646	801463	796503	786830
Sığır (Kültür)	3723583	4197890	4836547	5679484	5954333	6178757	6385343	6588527	7804588	8419204	8559855
Sığır (Melez)	3304531	3530391	3840466	4332021	4584328	4545703	4300352	4318752	4902055	5272723	5665969
Manda	78486	76253	87869	96692	105832	109903	120389	127866	145295	160557	165773
Koyun(Merinos)	102758	108639	122053	153265	179908	210626	220558	215126	242023	268168	307658
Koyun (Yerli)	2072193	2200330	2381104	2589258	2748517	2903398	2930236	2883267	3125741	3251329	3419947
Keçi (Kıl)	398504	491250	570149	655935	724741	813370	816827	811003	833522	855884	877150
Keçi (Tiftik)	11759	12208	12087	12648	13303	14225	16466	16621	17252	17910	19284
At	83377	77351	75615	70711	68105	65740	61352	60020	57024	54038	51234
Eşek	70255	63459	59849	56637	54427	51151	46547	45432	42413	40186	38074
Katır	20619	19230	19300	18882	18305	16559	17009	15292	13744	12335	11781
<b>Toplam</b>	<b>11163231</b>	<b>12009363</b>	<b>13219622</b>	<b>14895232</b>	<b>15626041</b>	<b>15901139</b>	<b>15852542</b>	<b>15948551</b>	<b>17985118</b>	<b>19148837</b>	<b>19903553</b>

\*Tüik (2020)

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

**Tablo 2.** Elazığ İli Geneli BBHB (2009-2019)\*

Hayvan Türü	YILLAR										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sığır (Yerli)	9008	10115	7561	9825	11173	13429	10315	9260	6610	7370	7441
Sığır (Kültür)	44730	46761	40018	40287	39264	38624	42018	48625	69183	82303	84150
Sığır (Melez)	28960	27429	41184	58942	60683	60545	60097	61006	57510	67738	69250
Manda	140	132	36	34	29	37	41	77	48	52	60
Koyun (Yerli)	23485	37469	56189	57808	40893	39117	40065	42825	50923	58485	60280
Keçi (Kıl)	3842	2242	4043	5958	4775	5641	6555	6639	7532	9112	9550
At	424	345	319	312	311	338	322	330	360	370	391
Eşek	1966	1808	1218	1200	1166	1343	1047	1038	1086	1046	1085
Katır	370	312	212	206	206	191	179	189	204	205	205
TOPLAM	112925	126613	150779	174572	158500	159265	160638	169987	193456	226681	232412

\*Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Anonim (2020)

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

**Tablo 3.** 2019 Yılı Elazığ İli Geneli ve İlçelerinin Mevcut Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Varlığı (BBHB)\*

Hayvan Cinsi	İlçeler											
	İl Geneli	Ağın	Alacakaya	Arıcak	Baskil	Karakoçan	Keban	Kovancılar	Maden	Merkez	Palu	Sivrice
Sığır Kültür	84150	538	248	1615	277	6830	740	12185	3812	50810	2350	4745
Sığır Kültür Melez	69250	215	1928	5724	3405	20145	884	17146	1008	13881	3713	1202
Sığır Yerli	7441	35	675	549	5	1283	110	1744	306	1200	1445	91
Manda	60	0	0	0	0	34	0	15	0	11	0	0
Koyun	60280	888	554	63	724	4913	1600	15291	404	32139	1110	2593
Keçi	9550	78	430	789	141	900	396	2200	277	2592	1152	595
At	391	0	42	54	5	89	3	30	34	71	51	15
Eşek	1085	8	108	378	35	81	25	89	122	123	41	77
Katır	205	0	18	43	2	59	4	8	16	0	50	4
TOPLAM	232412	1761	4003	9216	4593	34333	3760	48708	5979	100827	9911	9322
(%) İl-İlçe oranı	100	0,8	1,7	4,0	2,0	14,8	1,6	21,0	2,6	43,4	4,3	4,0

\*Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Verileri (2020)



Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

İlin 2019 yılı dikkate alındığında (Tablo 3), hayvancılığın %50'ye yakın bir kısmının Merkez İlçe'de yapıldığı görülmektedir. Merkez İlçeyi %21'lik bir oranla Kovancılar İlçesi, %14.8'lik oranla da Karakoçan İlçesinin takip ettiği görülmektedir. İlin BBHB olarak %79.2'si bu üç ilçede bulunmaktadır. 2019 yılında Elazığ'da ilçelere göre yem bitkisi üretiminde; Merkez (%47.21), Kovancılar (%24.47) ve Karakoçan (%6.74) İlçeleri toplam yem bitkisi üretiminin %78.42 ile en büyük üretime sahiptir. İlçelerde üretimi yapılan yem bitkisi yetiştiriciliği ve ilçenin hayvan varlığı yüzdelerinin birbirine paralel bir durum gösterdiği görülmektedir. Bu ilçelerde hayvancılık yapan işletmelerin kendi yem bitkisini ürettiğini ve bu işletmelerin satışa yönelik yem bitkisi üretimlerinin genel olarak olmadığı söylenilebilir.

Tüik'in 2019 yılı verileri incelendiğinde (Tüik, 2021a); Türkiye geneli yem bitkisi üretiminin, toplam tarım alanının %5.56'sında ekilen alanların ise %13.62'sinde yapıldığı, gelişmiş ülkelerde ise toplam tarım alanının %25-35 oranında (Açıkgoz ve ark., 2005) yem bitkisi üretimi yapıldığı görülmektedir. Ülke olarak yem bitkisi üretiminde gelişmiş ülkelerin gerisinde olduğumuzu ve bu durumun, hayvancılığımızdaki yem açığının oluşmasında en önemli etkenlerden biri olduğu söylenilebilir.

Elazığ'da yem bitkisi üretimi; (Tablo 5) toplam tarım alanının %3.6'sında, ekilen alanın ise %7.9'unda yapıldığı görülmektedir. Toplam tarım alanı ve ekilen alan içerisinde ekimi yapılan yem bitkilerinin oranı ülkenin yem bitkisi üretimiyle kıyaslandığında neredeyse %50 daha az yem bitkisi ekimi yapıldığı görülmektedir. Ülkemizde ekilen alanlar içerisinde yem bitkisi ekim alanı %13.6 iken Elazığ ilinde bu oranın %7.9 olduğu görülmektedir. Elazığ'a bağlı ilçeler bazında ise ilçenin toplam tarım alanının içerisinde yem bitkisi üretimi Arıcak %9.9, Kovancılar %8.6 ve Merkez İlçe %3.7 ile ilk üç sırayı alırken; ekilen alan içerisinde Arıcak %17.8, Kovancılar %13.4 ve Karakoçan %11.2 ile ilk üç sırada yer almaktadır. İlin yaklaşık %50 BBHB'ne sahip Merkez İlçe'de bu oranın %6.6 olduğu görülmektedir. Bu oranın acilen yükseltilmesi gerekmektedir.

Elazığ'da yem bitkisi ekim alanları 2009 yılında 94.200 da iken, 2019 yılında ise 146.042 da'ya çıkmıştır (Tüik, 2021b). İl hayvancılığının BBHB olarak varlığında 2009-2019 yılları arasında %100'e yakın bir artış görülürken, aynı yıllardaki yem bitkisi üretim alanlarındaki artış %50 civarında kalmıştır. Dolayısıyla ilin hayvancılık bakımından yem açığı bu durumdan olumsuz etkilenmiştir.

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

**Tablo 4.** Elazığ 2019 Yılı Yem Bitkisi Üretimi (Ton)\*

Elazığ İline Bağlı İlçelerde 2019 yılına ait Yem Bitkileri Üretimi																					
İlçeler	Fiğ		Macar Fiği		Mürdümük		Yonca		Burçak		Korunga		1.Silajlık Mısır		2. Silajlık Mısır		Sorgum		Toplam (Yem Bitkisi)		
	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	Üretim /Ton	İldeki % Payı	
Ağın	240	0.29	60	0.46	30	0.21														330	0.13
Alacakaya	377	0.46					1071	1.45												1448	0.56
Arıcak	3500	4.23					13200	17.81												16700	6.42
Baskil	1820	2.20			4681	33.40	544	0.73	36	7.20	182	15.49								7263	2.79
Karakoçan	4500	5.44	2185	16.58			10450	14.10					400	1.85						17535	6.74
Keban	450	0.54			750	5.35	18	0.02												1218	0.47
Kovancılar	48000	58.00	9715	73.71	1375	9.81	3150	4.25					1400	6.46						63640	24.47
Maden	3780	4.57	20	0.15	30	0.21	10904	14.71	4	0.80	102	8.68								14840	5.71
Merkez	15500	18.73	1200	9.10	6961	49.67	27200	36.70	396	79.20	876	74.55	18000	83.05	52320	100	318	100	122771	47.21	
Palu	2640	3.19					1577	2.13					1353	6.24						5570	2.14
Sivrice	1955	2.35			188	1.35	6000	8.10	64	12.80	15	1.28	520	2.40						8742	3.36
Toplam	82762	100	13180	100	14015	100	74114	100	500	100	1175	100	21673	100	52320	100	318	100	260057	100	

\*Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Verileri (2020)

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

**Tablo 5. BBHB-Üretilen Yem- İlin Yem Açığı (2019)**

Elazığ-İlçeler –Mevcut Alanlar-BBHB-Yıllık Yem İhtiyacı- Üretim Oranları ve Yem Açığı

İlçeler	*İlçenin BBHB Toplamı	Yıllık Yem İhtiyacı 12,5xBBHB	*İlçenin mera alanı da.	1 BBHB ye düşen mera alanı da.	**Meradan Elde Edilen Kuru Ot 90 kg/da	*Toplam Tarım Alanı (da)	*Ekilen Alan (da)	*Yem Bitkisi Ekilen Alan (da)	Toplam Tarım Alanında Yem Bitkisi Üretimi %	Ekilen Alanlarda Yem Bitkisi Üretimi %	*Üretilen Yem Bitkisi (Kuru) kg	Yem Bitkisi Üretimi İldeki Payı (%)	*İlçede üretilen sapsaman kg.	*** Pancar Posası Kullanımı (kg)	Yem Açığı ve fazlası (kg)
Ağın	1761	8034563	19500	11.1	1755000	66602	47102	550	0.8	1.2	107670	0.13	6.052.700		- 119.193
Alacakaya	4003	18263003	63080	15.8	5677200	87193	24113	566	0.6	2.3	385049	0.56	1.859.510		- 10.341.244
Arıcak	9216	42045719	35460	3.8	3191400	79740	44280	7900	9.9	17.8	4361620	6.42	5.916.965		- 28.575.734
Baskil	4593	20956201	362750	79.0	32647500	699137	336387	18924	2.7	5.6	1765667	2.79	23.862.015		37.318.981
Karakoçan	34333	156642488	241000	7.0	21690000	340245	99245	11150	3.3	11.2	4924290	6.74	17.000.970	3.000.000	- 110.027.228
Keban	3760	17156825	188960	50.2	17006400	230283	41323	2256	1.0	5.5	311849	0.47	2.541.725	1.000.000	3.703.149
Kovancılar	48708	222231482	170260	3.5	15323400	476961	306701	41100	8.6	13.4	20974285	24.47	40.387.485	4.000.000	- 141.546.312
Maden	5979	27277910	223900	37.4	20151000	279644	55744	6026	2.2	10.8	3936120	5.71	5.671.105	300.000	2.780.315
Merkez	100827	460021728	576250	5.7	51862500	1326586	750336	49685	3.7	6.6	36397883	47.21	95.388.055	21.415.000	- 254.958.290
Palu	9911	45216656	125860	12.7	11327400	189020	63160	3110	1.6	4.9	1696063	2.14	7.550.280	1.000.000	- 23.642.913
Sivrice	9322	42530941	253320	27.2	22798800	336141	82821	4775	1.4	5.8	2327301	3.36	8.230.400	500.000	- 8.674.440
Toplam	232411	1060377241	2260340	9.7	203430600	4111552	1851212	146042	3.6	7.9	77187797	100	214.461.210	31.215.000	- 534.082.634

\*Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Verileri (2020-2021), \*\*Anonim (2020a), \*\*\* Elazığ Şeker Fabrikası Verileri (2020)

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

**Tablo 6.** Elazığ 2009-2019 Yılları Yem Bitkisi Ekim Alanı (da)\*

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mürdümük				73291	61875	54265	33995	31913	28913	28313	28430
Fiğ	57815	48283	50831	57890	57720	59285	56735	55080	77000	77491	68914
Burçak	5100	4600	4070	3886	2603	2383	1793	1755	857	851	847
Yonca	15248	11631	14231	18347	17014	18697	19183	20843	20889	20901	20504
Korunga	3845	3588	1260	1364	1385	1315	1325	1435	1495	1400	1447
Mısır(Silaj)	12192	13095	13125	13440	15450	15325	15505	15785	16075	15530	15690
Sorgum				42	40	35	40	38	80	95	95
Macar Fiği											10115
Toplam	94200	81197	83517	168260	156087	151305	128576	126849	145309	144581	146042

\*Tüik (2021)

Review article/Derleme makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1015840

Otlatma kapasitesi yaygın olarak kullanılan aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Erkun, 1971; Yılmaz, 1977; Tükel, 1981). Bir büyükbaş hayvan birimi (BBHB) için bir otlatma mevsiminde

gereksinim duyulan mera alanı ise (Bakır, 1970) tarafından açıklanan aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Otlatma Kapasitesi} = \frac{\text{Mera Alanı (da)} \times \text{Mera Verimi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{da}}\right) \times \text{Yararlanma Oranı} (\%)}{\text{Hayvanın 1 Günlük Yem Tük.} (12,5 \text{ kg}) \times \text{Otlatma Gün Say.} (\text{gün})}$$

$$1 \text{ BBHB İçin Gerekli Mera Alanı (da)} = \frac{\text{Otlatma Periyodu (gün)} \times 1 \text{ BBHB'nin Günlük Kuru Ot Gereksinimi (kg)}}{\text{Mera Verimi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{da}}\right) \times \text{Faydalanılabilir Yem Oranı}}$$

**Tablo 7.** Çöteli-Hıdırbaba-Sarıçubuk Köylerinin Hayvan Varlığı (BBHB-2019)

KÖYLER	Büyükbaş			Küçükbaş		Toplam BBHB	*Mera Alanı (da)	1 BBHB'ne düşen mera alanı (da)	Meranın Otlatma Kapasitesi (BBHB)	Kapasite Fazlası BBHB
	**Kültür	**Kültür Melezi	**Yerli	**Koyun	**Keçi					
Çöteli	482	216.0	0.5	538.8	6.6	1237.3	7724	6.2	142.6	-1094.7
Hıdırbaba	288	35.3	0.5	3252.8	11.6	3576.6	16806	4.7	310.3	-3266.3
Sarıçubuk	1098	70.5	0.5	444.9	42.3	1613.9	3262	2.0	60.2	-1553.7

Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Verileri (\*2020-\*\*2021)

**Tablo 8.** Elazığ Nufusu (Kırsal, İlçe ve İl)\*

ELAZIĞ	Kırsal Nüfus			İl ve İlçe Merkezi Nüfusu			Elazığ Toplam Nüfus		
	2009	2019	Fark	2009	2019	Fark	2009	2019	Fark
Ağın	1022	1010	-12	1844	1616	-228	2866	2626	-240
Alacakaya	5454	3599	-1855	2598	2552	-46	8052	6151	-1901
Arıcak	5323	3867	-1456	10716	10753	37	16039	14620	-1419
Baskil	11588	8608	-2980	5212	5156	-56	16800	13764	-3036
Karakoçan	13704	11823	-1881	15357	16319	962	29061	28142	-919
Keban	2449	2932	483	4927	4136	-791	7376	7068	-308
Kovancılar	14943	14853	-90	24005	24226	221	38948	39079	131
Maden	7994	7531	-463	6909	3744	-3165	14903	11275	-3628
Merkez	33462	34843	1381	351705	404844	53139	385167	439687	54520
Palu	8896	8078	-818	12899	11698	-1201	21795	19776	-2019
Sivrice	5424	4726	-698	4236	4184	-52	9660	8910	-750
	110259	101870	-8389	440408	489228	48820	550667	591098	40431

\*Tüik (2021)

Review article/Derleme makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1015840

Elazığ'da toplam 2.260.340 da (Anonim, 2021) çayır-mera alanı bulunmaktadır. Mera verimi 90 kg/da (Anonim, 2020a) ve otlatma gün sayısı 195 gün (Anonim, 2020b) olduğu düşünüldüğünde, İldeki otlak alanlarının toplam hayvan otlatma kapasitesi 41.729 BBHB olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki formül ve mevcut veriler dikkate alındığında Elazığ'da 1 BBHB için gerekli mera alanının 54 da olduğu, buna bağlı olarak da toplamda 41.729 BBHB'ne ev sahipliği yapması gerekirken, ilin hali hazırda mevcut 232.412 BBHB'ne, mevcut kapasitesinden yaklaşık 4.5 kat daha fazla BBHB'ne ev sahipliği yaptığı görülmektedir. İlin 2019 yılı BBHB hayvan sayısı dikkate alındığında 1 BBHB için 9.7 da bir mera alanının düştüğü, normal düşmesi gereken alandan 4.5 kat daha az bir mera alanıyla sezonu geçirdiği görülmektedir. Fakat burada şunu da belirtmek gerekir ki bilindiği gibi kültür ırkları ile yapılan işletmelerde genelde entansif işletmecilik yapıldığı için mevcut mera alanları küçükbaş hayvanlar tarafından ağırlıklı olarak kullanılmaktadır, bir hayvana düşen merayla ilgili hesaplamalarda merayı kullanan büyükbaş hayvan sayılarının tam bilinmesi ve gerçek anlamda 1 BBHB'ne düşen mera alanının hesaplanması daha gerçekçi olacağını unutmamak gerekir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada 150 günlük otlatma periyodunda 1 BBHB'ye 34 da'lık bir mera alanı ayrılması (Koç ve Gökkuş, 1994), Elazığ Hal Köyünde 2014-2015 yıllarında yapılan bir çalışmada (Karan ve Başbağ, 2017) korunan ve otlatılan alanda sırasıyla 2014 yılında 56-75 da, 2015 yılında ise 17-23 da'lık alanların 1 BBHB için gerekli mera alanına ihtiyaç olduğu görülmüştür. Aynı mevkide 2 yıllık çalışma sonucunda 1 BBHB için gerekli mera alanında 3 kat kadar bir farklılık mevsimsel yağışlardan kaynaklandığı bildirilmektedir. Bu nedenle 1 BBHB için gerekli mera alanının hesaplanmasında her yıl için ayrı hesaplanmasının yapılması daha uygun olacağı söylenilebilir.

Mera ve merada otlayan hayvan varlığını hesaplarken mutlaka göz önüne alınması gereken diğer bir konu; her köyün kendisine ait mera alanı bulunmaktadır, bu mera alanlarının değerlendirilmesi köyde bulunan hayvan sayısı ile yakından ilgilidir. Bu duruma örnek olması açısından Elazığ Merkezde yaklaşık 7 km uzaklıkta olan Sarıçubuk Köyü, 25 km uzaklıkta olan Çötel Köyü ve 30 km uzaklıkta olan

Hıdırbaba Köyü bilinen yöreler olduğu için örnekleme alınmıştır.

İl'in mera varlığına bağlı olarak 2019 yılı BBHB'ne düşen mera alanı 9.7 da olduğu görülmektedir. Mevcut hayvan varlığı dikkate alındığında bu alanın ne kadar az olduğu bilinmektedir. İl genel olarak değerlendirmeye alındığında 1 BBHB'ne 9.7 da mera alanı düşmesine karşılık, özele inildiğinde (Tablo 7) tablonun çok daha vahim olduğu görülmektedir. Genel olarak Tablo 7'de özellikleri bilindiği için seçilen bu köyler dikkate alındığında, İl geneli mera alanı ortalamasının altında bir mera alanının düştüğü her üç köyde de görülmektedir. Bu üç köydeki büyükbaş hayvancılığın büyük çoğunluğu entansif olarak yapılmakta olup, özellikle Sarıçubuk Köyü'nde bazı işletmeler tarla tarımında yetiştirdikleri yem bitkilerini, yeşil olarak hem otlatma hem de biçme şekliyle değerlendirmeye aldıkları görülmektedir. Bu büyükbaş kültür ırkları ile genel olarak meralarda otlatma yapılmamaktadır. Bu durumda yani merayı kullanmayan büyükbaş kültür ırklarını meranın otlatılan alanından muaf tutulsa dahi küçükbaş hayvanlar için 1 BBHB bazında düşen mera alanının yine çok düşük olduğu görülmektedir. Küçükbaş hayvancılığın çok yoğun olduğu bu köylerdeki meralara gözlemsel olarak bakıldığında dahi acil olarak ıslah programına alınması gerektiği söylenilebilir. Her ne kadar Hıdırbaba Köyü'ndeki küçükbaş işletmelerinin bir kısmı yazın yaylalara gitmeler dahi, kış sezonunda otlatma mevsimine uymadıkları için köyün merasının durumu oldukça kötü durumda olduğu söylenilebilir.

Türkiye nüfusu 2009 yılında 72.6 milyon iken 2019 yılında 83.2 milyon olmuştur (Tüik, 2021c). 2009-2019 yılları arasında ülkenin ortalama nüfus artış hızı %14.6 civarında olduğu görülmektedir. Bu bağlamda bakıldığında Elazığ ilinin 2009-2019 yılları arasında nüfus artış hızı ortalama olarak %7.3 olmuştur. Türkiye nüfus artış ortalamasının yarısı kadar nüfus artışına sahip olduğu görülmüştür. Bu duruma; İlin bu dönemler içerisinde dışarıya göç verdiği söylenilebilir. Kırsal alandaki nüfus artış hızı artmadığı gibi %7.6 oranında azaldığı görülmektedir. Kırsal alanda nüfusun azalmasına karşın BBHB olarak 2009-2019 yılları arasında %100 e yakın bir hayvan sayısında artış olduğu gözlenmektedir. Bu yıllar arasında hayvancılıkla uğraşan aile sayısı bilgilerine ulaşamadığından dolayı BBHB'ndeki bu artışın; hayvancılık yapan aile işletmelerindeki

Review article/Derleme makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1015840

sayısal artıştan mı kaynaklandığı ya da hayvancılık işine giren yeni ailelerden mi kaynaklandığı bilinmemektedir. Kırsal alanlardaki göçün; yukarıdaki verilere bakıldığında daha çok hayvancılık dışında yapılan üretim sektörlerinden olduğu söylenilebilir.

## SONUÇLAR

Elazığ ilinde ekonomik bir hayvancılık için;

İl'de bulunan ve her köyün mevcut meralarının durumlarına göre özellikle küçükbaş hayvan varlığı olarak meranın otlatma kapasitesi değerlendirilmeli ve her köy için maksimum hayvan sayısı hesaplanmalı, kapasite üstü hayvan varlığına müsaade edilmemeli,

İl'de verilen hayvancılık teşviklerinde özellikle köy bazlı olan yatırımlarda, köyün hayvan ve mera varlığı dikkate alınmalı, mera ve hayvan sayısı arasındaki denge sağlanmalı,

Meraları kullanan hayvan sayısının doğru olarak bilinmesi için, İl'deki entansif işletmeler ve işletmelerdeki hayvan varlığı bilinmeli,

Her yıl "otlatma mevsimi" için alınan kararlara uyulmasının sağlanması, uymayanlara mutlaka gereken cezaların kesilmesi,

Hayvancılığa verilecek teşviklerde; yem bitkisi ekme zorunluluğu getirilmeli, ayrıca hayvan sayısına göre yeterince yem bitkisi ekimi yapan işletmelere daha fazla teşvik verilmeli,

Köylerde hayvancılıkla uğraşan kişi sayısı ve elinde bulunan hayvan varlığı hane olarak kayıt altına alınmalı, ayrıca köy köy yem bitkisi ekim alanlarının yıllık kayıtları tutulmalı,

Meraların kötü kullanımına dair örnek olarak aldığımız üç köy, hayvancılık ve hayvancılığın gelişmesi açısından oldukça düşündürücü olduğu görülmektedir. Meraların doğru kullanımı açısından oldukça kötü bir tablonun var olduğu, bu tür meraların mutlaka uzman bir kişi-ekip tarafından değerlendirmeleri sonucunda gerekli görülen önlemlerin zaman geçirilmeden alınması, yörenin otlatma kapasitesine uygun sayıda hayvan varlığı hesaplamasının mutlaka yapılması, hesaplama yapılırken; geçmiş yılların ortalama verilerinin dikkate alınması, kapasite üstü hayvan varlığının oluşmasını kısmen de olsa engellemiş olacaktır. Otlatma kapasitesinin doğru olarak yapılabilmesi için her yıl mutlaka ilgili köy meralarının dekara verim kayıtlarının oluşturulması gerekir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/ Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Açıkgöz, E., Hatipoğlu, R., Altınok, S., Sancak, C., Tan, A., Uraz, D., 2005 Yem Bitkileri Üretimi ve Sorunları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Tarım Kongresi, 3-7 Ocak 2005. 503-518, Ankara.
- Altın, M., A. Gökkuş., A. Koç, 2011. Çayır ve Mera Yönetimi (1.Cilt) Tarım Köy İşleri Bakanlığı TUGEM.376 s.
- Anonim, 2014. <http://www.rapory.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 19.07.2014)
- Anonim,2017.<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.4342.pdf> (E. Tarihi: 04.08.2017)
- Anonim,2018a.<https://www.elazig.bel.tr/icerik.php?id=217> (E.Tarihi: 13.09.2018).
- Anonim, 2018b. <http://elazig.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-681> (E. Tarihi: 13.09.2018)
- Anonim,2018c.<http://www.cografya.gen.tr/tr/elazig/iklim.html> (E. Tarihi: 13.09.2018)
- Anonim,2018d.[https://www.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Yonetmelikler/mera\\_yonetmeligi.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Yonetmelikler/mera_yonetmeligi.pdf). (E.Tarihi: 13.09.2018)
- Anonim,2020a.<https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitikisel-Uretim/Cayir-Mera-ve-Yem-Bitkileri>. (E.Tarihi-21.09.2020)
- Anonim, 2020b. T.C. Elazığ Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Mera Yaylak ve Kışlak Kullanım Esasları Valilik Genel Emri 2020/1
- Anonim, 2021. Tarım İl Müdürlüğü Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Şb. (E.Tarihi-22.01.2021)
- Avcioğlu, R., H. Soya., H. Kendir, 2010.Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Meralarımızın Korunma ve Kullanımı, 199-211, 11-15 Ocak, Ankara.
- Bakır, Ö. 1970. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Arazisinde Bir Mera Etüdü. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:232
- Bakır, Ö., E. Açıkgöz, 1976. Yurdumuzda Yem Bitkileri Çayır ve Mer'a Tarımının Bugünkü Durumu, Geliştirme Olanakları ve Bu Konuda Yapılan Araştırmalar. Çayır-Mer'a ve Zootečni Araştırma Enstitüsü Yayın No. 61. Ankara.
- Erkun, V., 1971. Hakkari ve Van İllerinde Mera Araştırmaları. Tarım Bakanlığı Ziraat İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, G.13, Ankara.
- Gençkan, S., 1992. Yem Bitkileri Tarımı. Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Yay. No: 467 (2. Baskı), s: 222-228-İzmir.

Review article/Derleme makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1015840

- Karan, H., M. Başbağ, 2017. Elazığ İli Merkeze Bağlı Hal Köyü Merasında Yer Alan Korunan ve Otlatılan Alanların Verim, Otlatma Kapasitesi ve Mera Derecesi Açısından Değerlendirilmesi. Türk Doğa ve Fen Dergisi Vol.6 No.2
- Koç, A., Gökkuş, A., 1994. Güzelyurt Köyü Mera Vejetasyonunun Botanik Kompozisyonu ve Toprağı Kaplama Alanı ile Bırakılacak En Uygun Anız Yüksekliğinin Belirlenmesi. Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 18: 495-500
- Tüik,2021a.[https://tüikweb.tüik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](https://tüikweb.tüik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001) (E. Tarihi:26.04.2021)
- Tüik,2021b. [https://tüikweb.tüik.gov.tr/Tarım/İstatistiksel Tablolar ve Dinamik Sorgulama./ Bitkisel Üretim Denge Tabloları](https://tüikweb.tüik.gov.tr/Tarım/İstatistikselTablolarveDinamikSorgulama/BitkiselÜretimDengeTabloları). (E. Tarihi:09.02.2021)
- Tüik,2021c.<https://data.tüik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayal%C4%B1-N%C3%BCfus-Kay%C4%B1-Sistemi-Sonu%C3%A7lar%C4%B1-2020-37210&dil=1> (E. Tarihi: 26.04.2021)
- Tükel, T., 1981. Ulukışla'da Korunan Tipik Bir Step Dağ Merası ile Eş Orta Malı Meraların Bitki Örtüsü ve Verim Güçlerinin Saptanması Üzerine Araştırmalar. Doçentlik Tezi, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Adana.
- Yılmaz, T., 1977. Konya İli Sorunlu Alanlarında Oluşan Meraların Bitki Örtüsü Üzerinde Araştırmalar. Tarım Bakanlığı Toprak Su Gn. Müd., Konya Bölge Toprak Su Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No: 46, Raporlar Serisi No:32, Konya.