



**MUNZUR**  
ÜNİVERSİTESİ  
2008

ISSN: 2149-0910  
VOLUME: 7 ISSUE: 3  
YEAR:2021

# 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)*

Assoc. Prof. Dr. Melih YÜCESAN, Munzur University, Tunceli, Turkey

*[melihyucesan@munzur.edu.tr](mailto:melihyucesan@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*

- Identification of Bacteria from Bingöl Hot Springs and Characterization of Protease and Amylase  
Bingöl Sıcak Su Kaplıcalarından İzole Edilen Bakterilerin Tanımlanması, Proteaz ve Amilaz Enzimlerinin Karakterizasyonu  
**Zindar Aslan, Fatma Matpan Bekler, Kemal Güven..... 346-355**
- Seasonal variation on the fatty acid composition in the muscle tissue of female *Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858)  
Dişi *Salmo Trutta Macrostigma* (Dumeril, 1858) 'nın Kas Dokusu Yağ Asidi İçeriğinin Mevsimsel Değişimi  
**Semra Kaçar, Hacer Kaya, Mehmet Başhan..... 356-363**
- Numerical Investigation of Wind and Temperature Effects of  
Dicle University Faculty of Engineering  
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin  
Rüzgâr ve Sıcaklık Etkilerinin Nümerik Olarak İncelenmesi  
**Ömer Faruk Can..... 364-370**
- Third-Party Logistics (3PL) Provider Selection Using Hybrid Model of SWARA and WASPAS  
SWARA ve WASPAS Hibrit Yöntemlerini Kullanarak Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Sağlayıcısı Seçimi  
**Muhammet Enes Akpınar..... 371-382**
- Investigation of the removal of Alizarin Red dye from aqueous solution with Diethylaminodextran / Epichlorohydrin (DEAE-D / ECH) cryogel  
Alizarin Red Boyar Maddesinin Dietilaminodekstran/Epiklorohidrin (DEAE-D/ECH) Kriyojeli ile Sulu Çözümlerden Gideriminin Araştırılması  
**Celile Demirbilek Bucak, Cemile Özdemir Dinç..... 383-390**
- Green Synthesis and Characterization of Anticancer Effectuated Silver Nanoparticles with Silverberry (*Elaeagnus angustifolia*) Fruit Aqueous Extract  
Antikanser Etkili Gümüş Nanopartiküllerinin İğde (*Elaeagnus angustifolia*) Meyvesi Sulu Ekstraktı ile Yeşil Sentezi ve Karakterizasyonu  
**Omer Erdogan, Salih Pasa, Ozge Cevik..... 391-400**
- Inverse Scattering Problem for Sturm-Liouville Operator with Discontinuity Conditions on the Positive Half Line  
Pozitif Yarı Eksende Süreksizlik Koşuluna Sahip Sturm-Liouville Operatörünün Ters Saçılma Problemi  
**Özge Akçay..... 401-409**
- Some Growth Parameters of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) Population Living In The Pülümür River  
Pülümür Nehri'nde Yaşayan *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) Populasyonunun Bazı Büyüme Parametreleri  
**Ebru İfakat Özcan, Osman Serdar..... 410-418**

Sustainability Index and Thermodynamic Analysis of Porous Fin Added Air Heated PV/T Collector Poroz Kanatçık İlaveli Hava Isıtmalı PV/T Kolektörünün Sürdürülebilirlik İndeksi ve Termodinamik Analizi <b>Fatih Bayrak</b> .....	419-428
The Assesment of Current Zooplankton in Uzunçayır Dam Lake with Some Water Quality Parameters Uzunçayır Baraj Gölü Güncel Zooplanktonunun Bazı Su Kalite Parametreleri ile Değerlendirilmesi <b>Hilal Bulut, Ahmet Sesli, Rıdvan Tepe</b> .....	429-441
Comparative Performance Analysis of Sinusoidal Pulse Width and Space Vector Pulse Width Modulations for Off-Grid Inverters Şebekeden Bağımsız Eviriciler için Sinüzoidal Darbe Genişlik ve Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonlarının Karşılaştırılmalı Performans Analizi <b>İbrahim Arslanoğlu, Bilgin Zengin</b> .....	442-454
Redefining the Problem in Problem Solving with TRIZ: Problem Formulation TRIZ ile Problem Çözmede Sorunun Yeniden Tanımlanması: Problem Formülasyonu <b>Ali Kılıç, Mehmet Erkan Kütük, Sadettin Kapucu</b> .....	455-461
Beta-Cyfluthrin Pestisitinin Zebra Midye ( <i>Dressienna polymorpha</i> ) Üzerindeki Etkisi Effect of Beta-Cyfluthrin Pesticide on Zebra Mussel ( <i>Dressienna polymorpha</i> ) <b>Osman Serdar, Rahmi Aydın, Hilal Söylemez</b> .....	462-471
Antioxidant and antiproliferative properties of some 2- (4h- [1,2,4] Triazol-3-Yl-sulfanyl) -acetamide derivatives Bazı 2-(4h-[1,2,4] Triazol-3-İl-sulfanil)-asetamid türevlerinin antioksidan ve antiproliferatif özellikleri <b>Selahattin Demir, Sibel Pekdemir, Serhat Keser, Arzu Karatepe, Metin Koparır, Mustafa Karatepe</b> .....	472-479
Numerical Investigation of the Effect of Using Nanofluids on Thermal Performance in an Energy Storage Pipe Enerji Depolamalı Bir Boruda Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi <b>Eda Bakır, Erdem Işık, Aynur Uçar, Fatih Bayrak</b> .....	480-489
Effect of Gamma Radiation on Mechanical Properties of Rape Reinforced Polypropylene Composite Material Gama Işımasının Kolza Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi <b>Akar Doğan1, Yılmaz Kısmet</b> .....	490-499
Investigation of SARS-CoV-2 and Gastrointestinal Pathogens in a Municipal Wastewater Treatment Plant in Turkey Türkiye'de Kentsel Bir Atıksu Arıtma Tesisinde SARS-CoV-2 ve Gastrointestinal Patojenlerin Araştırılması <b>Murat Topal, Zülal Aşçı Toraman, E. Işıl Arslan Topal, Ceren Sel Süer, Erdal Öbek</b> .....	500-508

Transition Vulnerability in the Strait of Istanbul: Possible Tanker Explosion Simulation İstanbul Boğazı Geçışı Güvenlik Açığı: Olası Tanker Patlama Simülasyonu <b>Müge Ensari Özay, Hasan Köten, Emine Can.....</b>	<b>509-516</b>
Antibacterial and Antifungal Features of <i>Centaurea urvillei</i> DC. subsp. <i>urvillei</i> that is herboized in Turkey Türkiye’de Yetişen <i>Centaurea urvillei</i> DC. subsp. <i>urvillei</i> ’ nin Antibakteriyel ve Antifungal Özelliği <b>Pınar Erecevit Sönmez, Uğur Çakılcıoğlu.....</b>	<b>517-525</b>
Analytical Evaluation of Behavior of Composite Columns Under Axial Load Eksenel Yük Altında Kompozit Kolonların Davranışının Analitik Değerlendirilmesi <b>Serkan Etlı.....</b>	<b>526-536</b>

## Bingöl Sıcak Su Kaplıcalarından İzole Edilen Bakterilerin Tanımlanması, Proteaz ve Amilaz Enzimlerinin Karakterizasyonu

Zindar Aslan<sup>1</sup>, Fatma Matpan Bekler<sup>1\*</sup>, Kemal Güven<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

zindaraslan47@hotmail.com<sup>id</sup>, \*fmatpan@dicle.edu.tr<sup>id</sup>, kemalg@dicle.edu.tr<sup>id</sup>

Makale gönderme tarihi: 18.02.2021, Makale kabul tarihi: 08.07.2021

### Öz

Bingöl İli Binkap sıcak su kaynaklarından izole edilen bakteriler karakterize edilerek, bunlara ait endüstriyel alanda önem arz eden proteaz ve amilaz gibi enzimleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada su ve toprak örneklerinden iki bakteri suşu izole edildi. Bu bakterilerin çeşitli biyokimyasal testleri ile morfolojik ve fizyolojik analizleri yapıldı. İzole edilen 4NK bakterisinin çubuk şeklinde Gram pozitif olduğu, 5NK bakterisinin de Gram pozitif ve çubuk şeklinde olduğu belirlenmiştir. İzole edilmiş bu iki bakteri için optimum pH değerinin 6.0 olduğu tespit edildi. Optimum üreme sıcaklıkları ise sırasıyla 40 ve 45 °C olarak belirlenmiştir. İzole edilen bakterilerin optimum koşulları belirlendikten sonra bunların ürettikleri enzimlerin optimum koşulları belirlendi. Buna göre 4NK bakterisinin proteaz ve amilaz enzimlerini üretim açısından optimum süreleri sırasıyla 18. saatte (195.80 U mg<sup>-1</sup>) ve 15. saatte (428.33 U mg<sup>-1</sup>) olduğu belirlenmiştir. Proteaz ve amilaz enzimlerinin optimum pH'sı 8.0, optimum sıcaklıkları sırasıyla 40-50 °C ve 50-60 °C olarak bulunmuştur. Ayrıca, 5NK bakteri varyetesi için proteaz ve amilaz enzimlerini üretim açısından optimum süresi, proteaz için 260.93 U mg<sup>-1</sup> ve amilaz için 380.58 U mg<sup>-1</sup> olmak üzere 24. saat olarak belirlenmiştir. Proteaz ve amilaz enzimlerinin optimum pH'ları 8.0, optimum sıcaklıkları 50 °C olarak bulunmuştur. İzolasyonu yapılan 4NK ve 5NK bakterilerinin 16S rRNA dizi analizi yapılmış, buna göre 4NK bakterisinin *Bacillus subtilis* türüne yakın, 5NK bakterisinin ise *Bacillus paralicheniformis* türüne filogenetik olarak yakın olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Amilaz, proteaz, sıcak su kaynakları, enzim, *Bacillus*

## Identification of Bacteria from Bingöl Hot Springs and Characterization of Protease and Amylase

### Abstract

Bacteria isolated from Binkap hot spring from Bingöl Province were characterised and studies were carried out on their industrially important enzymes such as protease and amylase. In this study, two bacteria were isolated in the water and soil samples. Various morphological, physiological and biochemical tests of these bacteria were applied. It was determined that the isolated 4NK bacteria were Gram positive in the form of rods, and the 5NK bacteria were Gram positive and rod shaped. It was determined that the optimum pH value for both isolated bacteria was 6.0. Optimum growth temperatures for 4NK and 5NK were determined as 40 °C and 45 °C, respectively. After determination of the optimum conditions for the isolated bacteria, the optimum conditions of the enzymes produced were also detected. Accordingly, the optimum production times of protease and amylase enzymes by 4NK bacteria were determined as 18th hour (195.80 U mg<sup>-1</sup>) and 15th hour (428. U mg<sup>-1</sup>), respectively. The optimum pH of protease and amylase enzymes were found to be 8.0, while optimum temperatures were as 40-50 °C and 50-60 °C, respectively. The optimum production time of protease and amylase enzymes by 5NK bacteria was determined to be 24 hours with activities of 260.93 U mg<sup>-1</sup> for protease and 380.58 U mg<sup>-1</sup> for amylase. The optimum pH of protease and amylase enzymes was determined as 8.0 and their optimum temperature as 50 °C. 16S rRNA sequence analysis of isolated 4NK and 5NK bacteria was performed and it was determined 4NK bacteria were close to *Bacillus subtilis* and 5NK bacteria were phylogenetically close to *Bacillus paralicheniformis*.

**Keywords:** Amylase, protease, enzyme, hot spring, *Bacillus*

## GİRİŞ

Mikroorganizmalar, hemen hemen bütün doğal habitatlardan ve diğer pek çok kaynaktan izole edilebilirler. Yaygın olarak toprakta saprofit olarak ve bitki döküntülerinin olduğu yerlerde bulunurlar fakat kutup bölgeleri, sıcak su kaynakları, kaplıcalar, tatlı su, deniz suyu, çöl toprakları da bu cinslerin yaşam alanlarıdır (Maugeri ve ark., 2001; Yılmaz, 2002; Özşahin, 2006). *Bacillus* türleri çeşitli kompleks substratlara karşı aktivite gösteren çok sayıda ve çeşitli hidrolitik enzimler üretmekte ve salgılamaktadırlar. Bu nedenle *Bacillus* cinsindeki organizmalar, endüstriyel alanda  $\alpha$ -amilaz, proteaz, glukonaz, glukoz izomeraz ve endonükleaz gibi enzimlerin üretiminde yaygın şekilde kullanılmaktadırlar (Uhlig, 1998).

Bakterilerin salgıladığı ve biyoteknolojik olarak önemi olan enzimlerden biri amilazlardır. Yapılan çalışmalarda ticari olarak ilk kullanılan enzimin amilaz olduğu belirlenmiştir (Gül Güven, 2011). Amilaz enzimi nişastayı moleküllerine parçalayan kuvvetli bir enzimdir. Nişasta molekülünü parçalamasıyla maltoz ve dekstrin molekülleri meydana gelir. Endüstriyel alanda özellikle *Bacillus* cinsi bakteriler tarafından salgılanan amilaz enzimi kullanılır. Bu enzim özellikle gıda endüstrisinde ekmek ve unlu mamullerde kabarma, yumuşak ürün elde etmede, ekmeğin tat ve kalitesini düzeltici etkilerde bulunur. Tekstil endüstrisinde ipliklerin sağlam olması için kullanılır ve kâğıt endüstrisinde kâğıdın nişasta ile kaplanması ile kâğıdı hasarlara karşı korur, kâğıdın sertliğini, direncini ve kalitesini de artırmaktadır. Deterjan endüstrisinde ise; kirliliğin temizlenmesi amacıyla kullanılır. Amilazlar ayrıca tıbbi alanda da ilaç sanayinde kullanılmaktadır (Kandra, 2003).

Proteaz canlılarda bulunması gereken, büyüme ve çoğalma için önemli olan bir enzimdir. Doğada bitkisel, hayvansal ve bakteriyel kökenli olabilir. Bunlar arasında en etkili olanlar bakterilerden elde edilen proteazlardır. Proteazlar optimum pH aralığına göre nötr, alkali ve asidik proteazlar olarak gruplandırılır. Son zamanlarda araştırmacılar bu özelliğinden dolayı endüstriyel alanlarda kullanılmak üzere uygun proteazları üreten mikroorganizmalar üzerinde çalışmaktadır (Özşahin, 2006; Najafi ve Sariri, 2006). *Bacillus* 'lardan elde edilen proteazlar endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Bunlardan alkali proteazlar özellikle deterjan sanayisinde kullanılmaktadır. Ayrıca etlerin

yumuşatılması, lekelerin giderilmesi, DNA teknolojisinde kullanılmaktadır (Özşahin, 2006).

Bu çalışmada, Bingöl sıcak su kaplıcalarından alınan su ve çamur örneğinden bakteri izolasyon işlemi yapıp bakterilerin biyokimyasal, fizyolojik, morfolojik ve genetik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Tanımlama sonucunda, bu elde edilen izolatların *Bacillus subtilis* ve *Bacillus paralicheniformis* türüne ait varyeteler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, amilaz ve proteaz enzimlerinin üretimi ve enzim karakterizasyonu çalışması yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### İzolasyon İşlemi ve Saf Kültür Bakteri Üretimi

Bu çalışmada Bingöl ilinin Iısu beldesinin Binkap kaplıcalarından bakteri izolasyonu yapıldı. Sıcak su kaynağından alınan su ve çamur örneklerinin pH ve sıcaklığı ölçülerek örnekler 50 mL'lik steril şişelerde aseptik ortam koşullarında saklanarak laboratuvar ortamına taşındı. Çamur örneklerinden 10 gr alınarak 90 mL steril su ile karıştırılarak  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ 'lik dilüsyonlar yapılarak 80 °C 'de 10 dakika boyunca kaynatıldı. Örneklerle 1 mL alınarak Nutrient Agar (NA)'a aktarıldı ve 55 °C'de 3-6 gün boyunca inkübe edildi. Bu süre de bekletilen mikroorganizmalardan spor oluşturabilenler canlılıklarını korurken, spor oluşturamayanlar canlılıklarını yitirir. Elde edilen karışık kültürlerden farklı morfolojik özelliklere sahip koloniler seçilerek saf kültür elde etmek için NA ortamına aktarıldı ve 55 °C'de gelişen kolonilerin tanımlanmasına yönelik testler yapıldı.

### Mikroorganizmaların Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Karakterizasyonu

Elde edilen saf kültürlerdeki kolonilerin şekil, renk, boyut, yüzey ve kenar özellikleri incelendi. Hücre morfolojileri Gram boyama ve spor boyama yapılarak ışık mikroskobu yardımıyla incelendi. Seçilen izolatın biyokimyasal özellikleri katalaz, üreaz aktivitesi, jelatin, nişasta, kazein, kullanımı test edildi. Bütün fizyolojik, biyokimyasal testler ikili olarak üç defa tekrar edildi.

Farklı morfolojik özelliklere sahip izolatları kodlar verilerek fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla optimum üretim koşulları belirlendi. Mikroorganizmaların gelişimi üzerine inkübasyon süresinin etkisinin araştırılması için elde edilen



suşlardan 1 mL ayrı ayrı alınarak 100 mL Nutrient Broth (NB) sıvı besiyerine inoküle edildi ve 160 rpm'de 55 °C' de çalkalayıcı su banyosunda 3-48 arasında inkübe edildi ve her 3 saatte bir örnek alınarak 600 nm' de spektrofotometrede absorbansları ölçüldü.

Sıcaklığın bakteri üremesine etkisini belirlemek için NB sıvı besiyerine izolatlardan ekim yapılarak farklı sıcaklıklarda (20-55 °C) optimum üreme zamanında çalkalayıcı su banyosunda inkübe edildi. Optimum üreme zamanı sonunda örneklerden 1 mL alınarak 600 nm'de spektrofotometrede absorbansları ölçüldü.

Mikroorganizmaların gelişiminde pH'nın etkisini belirlemek için 100 mL NB sıvı besiyerleri farklı pH'da (4.0-11.0) hazırlanarak izolatlardan 1 mL alınarak ayrı ayrı ekim yapıldı. İzolasyonu yapılan mikroorganizmalar optimum sıcaklıkta ve optimum üreme zamanında 160 rpm' de inkübasyon için çalkalayıcı su banyosunda inkübe edildi. Daha sonra optimum pH'nın tespiti için spektrofotometrede 600 nm'de absorbans ölçümleri yapıldı.

Bakterilerin tanımlanmasında kullanılan diğer bir yöntem olan antibiyotik duyarlılığı disk difüzyon yöntemine göre test edildi. İzole edilen bakteriler NB sıvı besiyerinde kültüre edildi. Gecelik kültürü hazırlanan bakteriler 5 ml steril %0.9 tuz çözeltisi kullanılarak toplandı, spektrofotometre kullanılarak absorbansı 0.5 McFarland bulanıklık standardına ayarlandı. Bakteriler ayrı ayrı NA besiyerine inoküle edildi ve ortam yüzeyinin kuruması için 3-5 dk. bekletildi. Fucidic acid (10 µg), Chloramphenicol (30 µg), Kanamycin (5 µg), Novobiocin (5 µg), Penicillin (2, 10 units), Nystatin (100 units), Gentamicin (10 µg), Streptomycin (10 µg), Tilmecocin (15 µg), Bacitracin (10 unit), Ampicillin (10 µg), Lincomycin (15 µg), Tetracyclin (30 µg), Neomycin (10 µg) antibiyotik diskleri kültür yayılan NA içeren petriyelerinin üzerine belirli aralıklarla bırakıldı 2 gün süreyle inkübe edildi. İnkübasyon süresi sonunda antibiyotik disklerinin etrafında oluşan inhibisyon zonları mm olarak ölçülerek antibiyotik duyarlılıkları değerlendirildi. Tüm deneyler üç tekrarlı olacak şekilde yapıldı ve standart sapmalar elde edilen verilerin aritmetik ortalamasından farklarının karelerinin toplamının verilerin eleman sayısının bir eksiğine bölümünün karekökü şeklinde Microsoft Excel kullanılarak hesaplanmıştır.

### 16S rRNA Gen Dizi Analizi

Bakterilerin 16S rRNA dizi analizi için izole edilen bakterilerin örnekleri Ankara Üniversitesi Gen Araştırma ve Biyoteknoloji Laboratuvarı REFGEN'e gönderilmiştir. Elde edilen diziler bir BLAST arama aracı [NCBI: Biyoteknoloji Ulusal Merkezi (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)] veritabanı kullanılarak karşılaştırıldı. İzole suşunun 16SrRNA dizi çoklu sekans hizalama programı kullanılarak NCBI veritabanından dizi homolojisi gösteren bir referans dizisi ile hizalandı. İzolat 16S rRNA dizi verilerine dayanarak EzTaxon sunucusu (<http://www.ezbiocloud.net/eztaxon>; Kim ve ark., 2012) kullanılarak tanımlandı.

### α-Amilaz aktivitesi

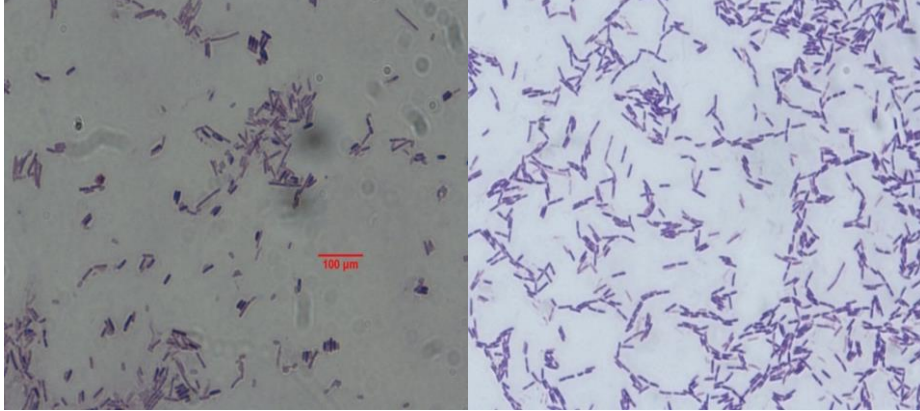
Bakterilerin enzim aktivite tayinlerinin yapılması için NB sıvı besi yeri hazırlandı. Daha önce kültürü hazırlanan bakterilerden öze yardımıyla sıvı besi yerine ekim yapıldı. Bakterilerin optimum üreme süresi ve sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra besiyeri 10 000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilerek süpernatant enzim kaynağı olarak kullanıldı. α-Amilaz aktivitesi Bernfeld (1955)'e göre yapıldı. Bu yöntemde göre 100 µL enzim kaynağı olarak kullanılan süpernatant ve 200 µL % 0.5'lik nişasta çözeltisi (pH 7.0) 50 °C'de 30 dakika inkübe edildi. Süre sonunda reaksiyonu durdurmak için, 400 µL 3,5 dinitro salisilik asit (DNS) ilave edilerek 5 dakika kaynar su banyosunda bekletildi. Daha sonra 3 mL distile su ile seyreltme yapılarak spektrofotometre ile 489 nm'de absorbans ölçüldü. α-Amilaz için Ünite Enzim: 1 µmol nişastayı 30 dakikada maltoz birimlerine parçalayan α-amilaz enzim miktarıdır (U mg<sup>-1</sup>).

### Proteaz Aktivitesi

Proteaz aktivitesi Leighton ve ark. (1973) göre yapıldı. Bu yöntemde göre 100 µL enzim kaynağı olarak kullanılan süpernatant ve substrat olarak 500 µL azokazein kullanılarak 50 °C'de 30 dakika inkübe edildi. Süre sonunda reaksiyonu durdurmak için, 2 mL trikloroasetikasit (TCA) ilave edilerek 4 °C'de 15 dakika bekletildi. Daha sonra santrifüj edildi ve süpernatanttan 400 µL süzüntü alındı. Alınan üst sıvının üzerine 800 µL 1,8 M NaOH eklendi ve 420 nm'de absorbansı ölçüldü. Proteaz için Ünite Enzim: 1 µmol azokazeini 30 dakikada aminoasitlerine parçalayan proteaz enzim miktarıdır (U mg<sup>-1</sup>). Hem

Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.882322

$\alpha$ -amilaz hem de proteaz aktivitesinin belirlenmesinde protein miktar tayini Lowry ve ark



Şekil 1a. 4NK'nın gram boyaması 1b. 5NK'nın gram boyaması

(1951) göre yapıldı. Tüm deneyler üç tekrarlı olacak şekilde yapıldı.

#### Proteaz ve Amilaz Enzimleri Aktivitesine Zamanın Etkisi

100 mL NB sıvı besiyerinden (pH 7.0) her birine 1'er mL bakteri ekimi yapıldı ve 3-48 saat süreyle inkübasyona bırakıldı ve her 3 saatte bir örnek alınarak 10 000 rpm'de 10 dk. santrifüj edildi. Elde edilen süpernatantlarda Bernfeld (1955) yöntemine göre  $\alpha$ -amilaz aktivite tayini ve Leighton ve ark. (1973) göre proteaz enzimi aktivitesi belirlendi.

#### Proteaz ve Amilaz Aktivitesine Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi

Enzimlerin aktivitesi üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için NB sıvı besi yerinde optimum üretim sürelerinde üretilen bakteriler santrifüj edilip süpernatant alındı ve farklı sıcaklıklarda (20-60 °C) inkübe edilerek enzim aktiviteleri belirlendi.

#### Proteaz ve Amilaz Aktivitesine pH' nın Etkisinin İncelenmesi

Proteaz ve amilaz aktivitesine pH'nın etkisini ölçmek için NB sıvı besi yerinde optimum üretim süresinde üretilen bakterilerin santrifüjü sonrasında elde edilen süpernatant alındı. Proteaz ve amilaz aktivitesini belirlemede kullanılan substratlar (sırasıyla azokazein ve nişasta) farklı pH tamponlarında [0.1 M sitrik asit (pH 4.0, 5.0, ve 6.0), 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0, 8.0 ve 9.0) ve 0.1 M

karbonat/bikarbonat (pH 10.0 ve 11.0) hazırlandı. Farklı tamponlarda hazırlanan substratlar kullanılarak enzim aktiviteleri belirlendi.

#### BULGULAR ve TARTIŞMA

##### Bakterilerin İzolasyonu

Bingöl'ün Ilıcalar ilçesinin sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerinden bakteri izolasyonu yapılarak elde edilen izolatlar 1NK (normal katıdan), 2NK, 3NK, 4NK ve 5NK ve 6D kodu verilerek gliserol içeren cryotüplerde -80 °C'de muhafaza edildi. Bunlardan en iyi üreme gösteren 4NK ve 5NK suşları morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve 16S rRNA analizlerine göre karakterize edildi. Ülkemizde çok sayıda sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışma, Bingöl ili Binkap kaplıcası termofilik bakterilerin çeşitliliğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

4NK ve 5NK izolatlarının, koloni morfolojisi incelendiğinde yuvarlak, mat ve krem olduğu, ışık mikroskopuyla yapılan hücre morfolojisi incelemelerine göre Gram pozitif, çubuk şeklinde, hareketli ve sporlu olduğu belirlendi (Şekil 1a, Şekil 1b). Sıcak su kaynaklarından bakteri izolasyonu ile ilgili yapılan tanımlamalarda genellikle çubuk şekilli, Gram pozitif, hareketli ve sporlu bakteriler oldukları belirtilmiştir (Kevbrin ve ark., 2005; Poli ve ark., 2006; Derekovala ve ark., 2007).

**Tablo 1:** Morfolojik ve fizyo-biyokimyasal özellikler

	<b>4NK</b>	<b>5NK</b>
Hücre Şekli	Çubuk	Çubuk
Gram Boyama	(+)	(+)
Sıcaklık (°C)	25-55	25-55
pH	5.0-9.0	5.0-10.0
Katalaz Aktivitesi	(+)	(+)
Oksidaz aktivitesi	(+)	(+)
Üreaz Aktivitesi	(+)	(+)
Sitrat az aktivitesi	(+)	(+)
Jelatin Hidrolizi	(+)	(+)
Kazein Hidrolizi	(+)	(+)
Nişasta Hidrolizi	(+)	(+)

(+): pozitif, (-): negatif

Yapılan biyokimyasal testlerin sonuçlarına göre; 4NK ve 5NK suşlarının katalaz aktivitesi, oksidaz, üreaz, sitrat az, jelatin, kazein ve nişasta hidrolizi pozitif olduğu Tablo 1’de görülmektedir.

**Tablo 2.** 4NK ve 5NK suşlarının antibiyogram sonuçları

<b>Antibiyotik adı</b>	<b>4NK (zon çapı mm)</b>	<b>5NK (zon çapı mm)</b>
Lincomycin (15 µg)	19±1.4	10±2.8
Penicilin (2 unit)	6±2.8	9±1.4
Bacitracin (10 unit)	11.5±0.7	9.5±2.1
Ampicillin (10 µg)	16±1.4	13±1.4
Tilmecosin (15 µg)	20.5±3.5	14.5±0.7
Chloramphenicol (30 µg)	22.5±0.7	12.5±0.7
Kanamycin (5 µg)	13.5±0.7	28±2.8
Streptomycin (10 µg)	15.5±0.7	31±1.4
Novobiocin (5 µg)	11.5±0.7	14±1.4
Gentamicin (10 µg)	14±0.1	28±7.1
Fusidic Asid (10 µg)	17±1.4	13.5±2.1
Tetracycline (10 µg)	16±1.4	26±1.4
Neomycin (10 µg)	11.5±0.7	20±2.8
Penicilin (10 unit )	11.5±0.7	9±1.4
Nystatin (100 µg)	0	11.5±0.7

**Bakterilerin Antibiyotiklere Karşı Duyarlılığı**

Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.882322

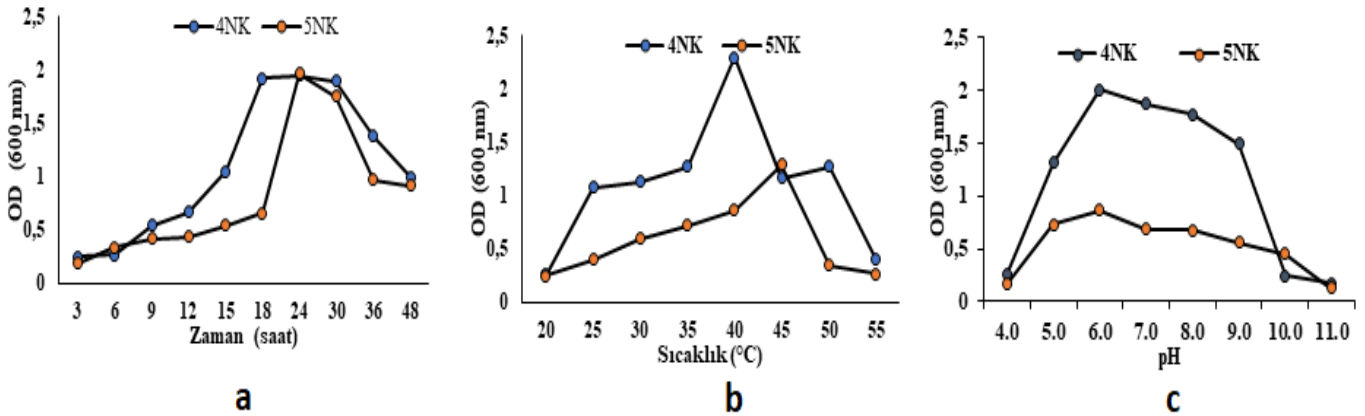
Tablo 2’de elde edilen izolatların antibiyogram sonuçları görülmektedir. İzole edilen 4NK ve 5NK bakterilerinin antibiyogram sonuçlarına göre; 4NK izolatının Lincomycin, Tilmecocin, Chloramphenicol, Ampicilin, Gentamicin, Tetracyclin, Fucidic acid, ve Streptomycin antibiyotiklerine duyarlı olduğu, Bacitracin, Penicilin (10 unit), Neomycin ve Novobiocin antibiyotiklerine yarı duyarlı olduğu, Peniciline (2 unit) karşı az duyarlı olduğu ve Nystatin antibiyotiğine karşı dirençli olduğu belirlenmiştir.

5NK izolatının antibiyogram sonuçlarına göre; Kanamycin, Novobiocin, Gentamicin, Fucidic acid ve Neomycin, antibiyotiklerine duyarlı olduğu, Ampicillin, Tilmecocin, Chloramphenicol, Streptomycin, Tetracyclin ve Nystatin antibiyotiklerine yarı duyarlı olduğu, Lincomycin, Penicillin (2, 10 unit), Bacitracin antibiyotiklerine az duyarlı olduğu belirlenmiştir. Elde ettiğimiz 4NK ve 5NK suşlarının zamana bağlı üreme grafiğine bakıldığında (Şekil 2a) maksimum üremenin 24. saatte elde edildiği görülmektedir. Kısa sürede üreme

göstermeleri zamandan tasarruf sağlanması açısından biyoteknolojik uygulamalar için önemlidir.

Sıcaklığın izole edilen suşlar üzerinde üremelerine etkisine bakıldığında 4NK susu 25-50 °C arasında (optimum 40 °C), 5NK susu 20-55 °C arasında (optimum 45 °C) üreme gösterdiği ve (Şekil 2b). Her iki suşun da ılımlı termofil olduğu görülmektedir. Dunlap ve ark. (2015) izole ettikleri *B. paralicheniformis*’in üreme koşullarını 15–60 °C ve pH 6.0–11.0 (optimum pH 7.0–8.0) olarak belirlemişlerdir. Poli ve ark. (2006) izole ettikleri bakterilerin termofilik olduğunu ve bakterilerin büyüme sıcaklığını ve pH’sını sırasıyla 45-55 °C ve pH 5.0-6.5 olarak bulmuşlardır.

Şekil 2c’de görüldüğü gibi 4NK susu pH 5.0-9.0 arasında (optimum 6.0), 5NK susu pH 5.0-10.0 arasında (optimum 6.0) gelişme göstermektedir (Şekil 2c). Her iki suşun da geniş pH aralığında üreme göstermeleri biyoteknolojik alanlarda avantaj sağlamaktadır.



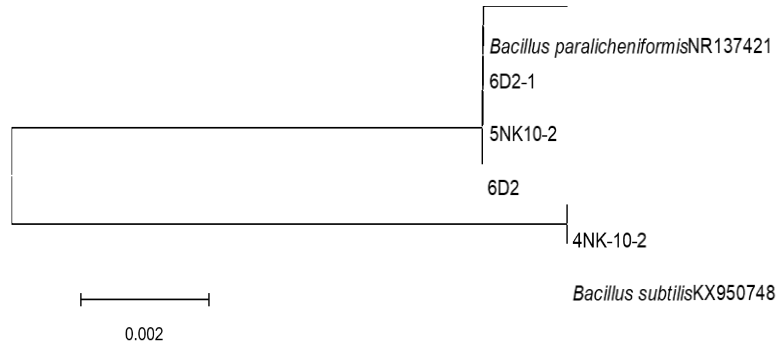
Şekil 2a. 4NK ve 5NK suşlarının zamana bağlı üreme grafiği, 2b. 4NK ve 5NK suşlarının sıcaklığa bağlı üreme grafiği, 2c. 4NK ve 5NK suşlarının pH’ya bağlı üreme grafiği

### 16S rRNA Dizi Analizi

16S rRNA dizi analizi sonuçlarına göre elde edilen izolatlardan 4NK suşunun *Bacillaceae* familyasına ait *B. subtilis*, 5NK suşunun ise *B. paralicheniformis* türene yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). *B. paralicheniformis* Gram (+), fakültatif anaerob, hareketli ve endospor oluşturan *B. licheniformis* ve *B. sonorensis*’e filogenetik olarak yakın olan bir türdür.

*B. paralicheniformis* biyoteknoloji endüstrisinde enzimler, antibiyotikler, biyokimyasallar ve tüketici ürünleri üretmek için kullanılmaktadır (Rey ve ark., 2004; Dunlap ve ark., 2015; Du ve ark. 2019). Bu çalışmada izole edilen 5NK suşunun *B. paralicheniformis*’e benzerlik göstermesi bu suşun biyoteknolojik alanlarda kullanılma potansiyelini göstermektedir.

Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.882322



Şekil 3: 16S rRNA analizine göre filogenetik ağaç

### Proteaz ve Amilaz Enzimleri Aktivitesine Zamanın Etkisi

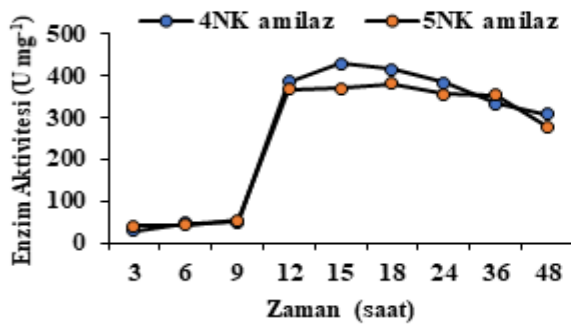
Şekil 4a'da görüldüğü gibi 4NK ve 5NK suşlarının amilaz aktivitesi 9. saatten itibaren hızla artmış 4NK için amilaz aktivitesi 15. saatte ( $428.33 \text{ U mg}^{-1}$ ), 5NK için 18. Saatte ( $380.58 \text{ U mg}^{-1}$ ) maksimum değere ulaşmış, daha sonra yavaş yavaş azalmıştır.

Şekil 4b'de görüldüğü gibi proteaz aktivitesi 4NK ve 5NK suşları için 3. saatten itibaren yavaş yavaş artmış 4NK için  $195.80 \text{ U mg}^{-1}$  ve 5NK için  $260.93 \text{ U mg}^{-1}$  olarak 24. saatte maksimum değere

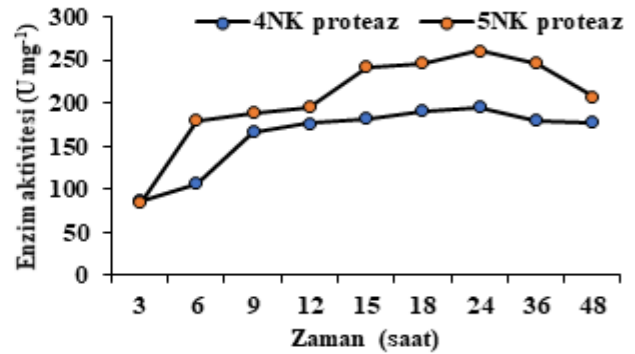
ulaşmıştır. 24. Saatten sonra proteaz aktivitesi azalmaya başlamıştır.

Her iki suş için de hem amilaz hem de proteaz üretimi maksimum üretim gerçekleşikten sonra azalmaktadır. Her iki suş için de amilaz ve proteaz enzimlerinin sentezinin artışı bakteri üreme fazlarından logaritmik fazın sonuna denk geldiği görülmektedir.

Enzim üretiminin, besiyerindeki diğer bileşenlerle etkileşime girmesi, pH'ın değişmesi ve mikroorganizmaya yararlı besinlerin tüketilmesi nedeniyle azaldığı düşünülmektedir (Matpan Bekler ve ark., 2020).



a



b

Şekil 4a. 4NK ve 5NK suşlarının a-Amilaz aktivitesine zamanın etkisi, 4b. 4NK ve 5NK suşlarının proteaz aktivitesine zamanın etkisi

### Proteaz ve Amilaz Enzim Aktivitesine Sıcaklığın Etkisi

Şekil 5a'da görüldüğü gibi 4NK ve 5NK suşlarının sıcaklığa bağlı amilaz aktivitesi  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de artmaya başlamış, 4NK suşu için  $40\text{-}50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, 5NK

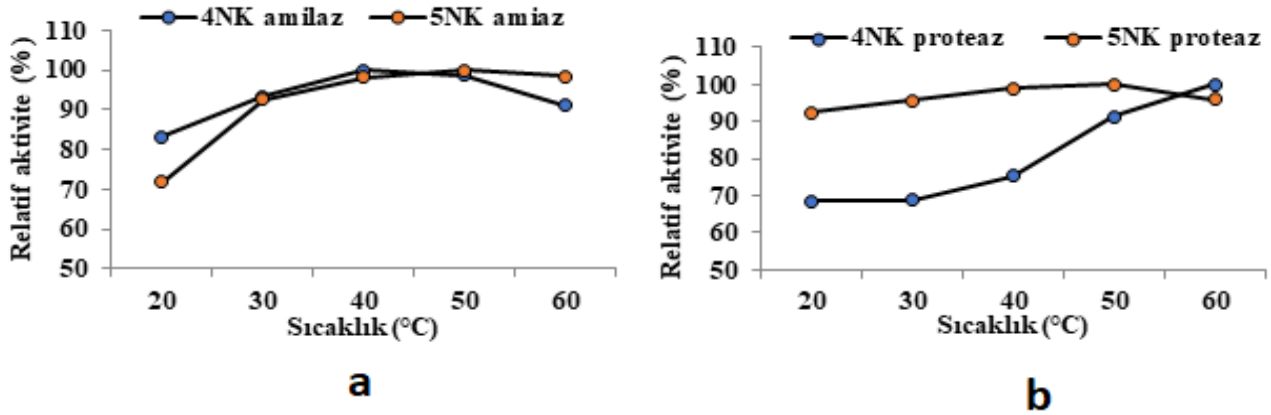
suşu için  $50\text{-}60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de optimum değere ulaşmış ve bundan sonra ise azalmaya başlamıştır. Kıran ve Çömlekçioğlu (2003), termofilik *Bacillus* sp. K-12'nin amilaz üretimi üzerinde yaptıkları çalışmada enzimin optimum sıcaklığının  $42 \text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak bulunmuştur. Raul ve ark. (2014), maksimum  $\alpha$ -

Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.882322

amilaz aktivitesini 40 °C’de, Cordeiro ve ark. (2002) 50 °C’de bulmuşlardır. Sonuçlar incelendiğinde, enzimin özellikle fermantasyon sonucu enzimleri inaktif hale getirmek için yapılan pastörizasyon için gerekli sıcaklıklarda da aktivite gösterebildiğinden (Stamford ve ark., 2001) gıda işleme ve geleneksel

bira üretimi gibi çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabilir özellikte olduğu görülmektedir.

Şekil 5b’de görüldüğü gibi proteaz aktivitesi ise 4NK suşunda 30 °C’den itibaren 5NK suşunda 20 °C’de artmaya başlamış, 4NK suşu için 60 °C’de, 5NK suşu için 50 °C’de optimum değere ulaşmıştır.



Şekil 5a. 4NK ve 5NK suşlarının  $\alpha$ -Amilaz aktivitesine sıcaklığın etkisi, 5b. 4NK ve 5NK suşlarının proteaz aktivitesine sıcaklığın etkisi

Gupta ve ark. (2002) *Bacillus* türleriyle yaptıkları çalışmada maksimum proteaz aktivitesini 60 °C, Arulmani ve ark. (2007), *B. laterosporus*’dan serin proteaz aktivitesinin optimum sıcaklığını 75 °C, Park ve ark. (2003), *Bacillus* cinsi (*B. subtilis*, *B. aeromonas*, *B. hyrophila*, *B. amyloliquefaciens*) bakterilerinden elde ettiği proteaz aktivitesinin optimum sıcaklığını 40-70 °C, *B. licheniformis* DV3’ten (Matpan Bekler ve ark., 2015a) elde edilen proteazın optimum sıcaklığını 50 °C, *Anoxybacillus* sp. KP1’den (Matpan Bekler ve ark., 2015b) elde edilen proteazın optimum sıcaklığını 50 °C bulmuştur. Bu çalışmadaki iki izolattan elde edilen proteazın maksimum aktivite gösterdiği sıcaklıklar çamaşır deterjanı formülasyonları gibi endüstriyel uygulamalarda kullanmak için avantajlı olabilir.

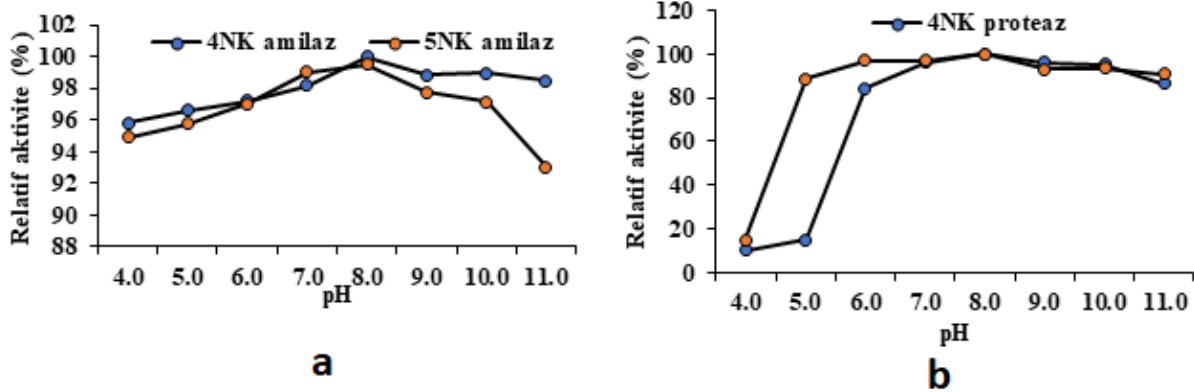
#### Proteaz ve Amilaz Enzim Aktivitelerine pH’nın Etkisi

Şekil 6a’da görüldüğü gibi 4NK ve 5NK suşlarının amilaz aktivitesi geniş pH (4.0-11.0) aralığında aktivite göstermektedir. 4NK ve 5NK suşları için pH 8.0’de maksimum amilaz aktivitesi elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, Mamo ve Gessesse

(1999) pH 5.5-9.0, Conderio ve ark. (2002) pH 7.5, Arıkan ve ark. (2003)  $\alpha$ -amilazın alkalın pH değerinde (9.5-13.0), Behal ve ark. (2006) pH 7.0-10.0, Liu ve Xu (2008) pH 4.5-11.0 ve Raul ve ark. (2014) pH 7.1, Ahmetoğlu ve ark. (2015) maksimum amilaz aktivitesini pH 7.0’de elde etmişlerdir. Bu iki suştan elde edilen amilazın göstermiş olduğu pH profili, nötraliteye yakın bir pH aralığında gerçekleştirilecek endüstriyel proseslerdeki uygulamalarda kullanılabilirliğini göstermektedir.

Şekil 6b’de görüldüğü 4NK ve 5NK suşlarının proteaz aktivitesi ise pH 4.0’ten itibaren artmaya başlamış pH 8.0’de optimum değere ulaşmış daha sonra yavaş yavaş azalmaya başlamıştır. Önceki çalışmalarda *Bacillus stearothermophilus* (Sookkheo ve ark., 2000), *Bacillus mojavensis* (Gupta ve ark., 2002), *B. subtilis*, *B. aeromonas*, *B. hyrophila*, *B. amyloliquefaciens* (Park ve ark., 2003), tarafından sentezlenen proteaz enziminin maksimum aktivitesinin pH 8.0 olduğu belirtilmiştir. Hem 4NK hem de 5NK’den elde edilen proteazın geniş pH’da aktivite göstermesi deterjanlarda, deri işlemede veya daha yüksek pH’da diğer uygulamalarda katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Research article/Araştırma Makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.882322



Şekil 6a. 4NK ve 5NK suşlarının  $\alpha$ -amilaz aktivitesine pH'nın etkisi, **6b.** 4NK ve 5NK suşlarının proteaz aktivitesine pH'nın etkisi

## SONUÇ

Sonuç olarak biyoteknolojik açıdan önemli olan enzimler üzerine incelemeler yapılmış bunun sonucunda enzimlerin optimum koşulları belirlenmiştir. Endüstrinin birçok alanında kullanılan amilaz ve proteaz enzimleri üzerine yapılan bu araştırmanın biyoteknolojide kullanılabileceğini göstermektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma FEN.17.008 ve FEN.17.009 nolu projeler ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinatörlüğü (DÜBAP) tarafından desteklenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Ahmetoğlu, N., Matpan Bekler, F., Acer, Ö., Gül Güven, R., Güven, K., 2015. Production purification and characterisation of thermostable metallo protease from newly isolated *Bacillus* sp KG5. *EurAsian Journal of BioSciences*, 9, 1-11.
- Arikan, B., Unaldi, N., Çoral, G., Çolak, Ö., Aygan, A., Gülnaz, O., 2003. Enzymatic properties of a novel thermostable, thermophilic, alkaline and chelator resistant amylase from an alkaliphilic *Bacillus* sp. isolate ANT-6. *Process Biochemistry*, 38, 1397-1403.
- Arulmani M., Aparanjini K., Vasanthi. K., Arumugam P., Arivuchelvi M., Kalaichelvan P. T., 2007. Purification and Partial Characterization of Serine Protease from Thermostable Alkalophilic *Bacillus*

*laterosporus*-AK1. *World journal of Microbiology Biotechnology*, 23, 475-481.

- Behal, A., Singh, J., Sharma, M.K., Puri, P., Batra N., 2006. Characterization of alkaline  $\alpha$ -amylase from *Bacillus* sp. AB 04. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8, 80-83.
- Bernfeld, P., 1955. Enzymes Carbohydrate Metabolism, *In Methods In Enzymology Academic press*, 17, 149-158.
- Cordeiro, C.A.M., Martins, M.L.L., Luciano, A.B., 2002. Production and Properties of  $\alpha$ -Amylase from Thermophilic *Bacillus* sp. . *Brazilian Journal of Microbiology*, 33, 57-61.
- Derekova, A., Sjøholm, C., Mandeva, R., Kambourova, M., 2007. *Anoxybacillus rupiensis* sp. nov., a novel thermophilic bacterium isolated from Rupi Basin (Bulgaria). *Extremophiles*, 11, 577-583.
- Du, Y., Ma, J., Yin, Z., Liu, K., Yao, G., Xu, W., Fan, L., Du, B., Ding, Y., Wang, C., 2019. Comparative genomic analysis of *Bacillus paralicheniformis* MDJK30 with its closely related species reveals an evolutionary relationship between *B. paralicheniformis* and *B. licheniformis*. *BMC Genomics* 20, 283.
- Dunlap, C.A., Kwon, S.W., Rooney, A.P., Kim, S.J., 2015. *Bacillus paralicheniformis* sp. nov., isolated from fermented soybean paste. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65, 3487-92.
- Gupta, R., Beg, Q., Lorenz, P., 2002. Bacterial alkaline proteases: molecular approaches and industrial applications, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 15-32.
- Gül Güven, R., 2011. Termofilik Bakteriler ve Biyoteknolojik Açısından Önemli Bazı Enzimleri. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi* TR, 9(1), 1-10.

Research article/Araştırma Makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.882322

- Kandra, L., 2003.  $\alpha$ -Amylases of Medical and Industrial Importance; *Journal of Molecular Structure(Teochem)*, 666, 487-498.
- Kevbrin, V.V., Lysenko, K.Z.A.M., Wiegel, J., 2005. *Anoxybacillus kamchatkensis* .nov.,a Novel Thermophilic Facultative Aerobic Bacterium with a Broad pH Optimum from The Geyser Valley, Kamchatka. *Extremophiles*, 9, 391-398.
- Kıran, E.Ö., Çömlekçioglu, U., 2003. Zeytin Ilıcası (Kahramanmaraş)'ndan Termofil Alkalifilik Amilolitik *Bacillus* sp. Suşlarının İzolasyonu ve Amilaz Üretme Yetenekleri Üzerine Azot Kaynaklarının Etkisi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), 41-48.
- Kim, O.S., Cho, Y.J., Lee, K., Yoon, S.H., Kim, M., Na, H., Park, S.C., Jeon, Y.S., Lee, J.H., Yi, H., Won, S., Chun, J., 2012. Introducing EzTaxon: a prokaryotic 16S rRNA gene sequence database with phylotypes that represent uncultured species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62, 716-721.
- Leighton, T.J., Doi, R.H., Warren, R.A.J., Kelln, R.A. 1973. The relationship of serine protease activity to RNA polymerase modification and sporulation in *Bacillus subtilis*. *Journal of Molecular Biology*, 76(1), 103-122.
- Liu XD., Xu, Y., (2008). A novel raw starch digesting  $\alpha$ -amylase from a newly isolated *Bacillus* sp. YX-1: Purification and characterization, *Biosource Technology*, 99, 4315-4320.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent, *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265- 275.
- Mamo, G., Gessesse, A., 1999. Purification and Characterization of Two Raw-Starch-Digesting Thermostable  $\alpha$ -amylases from a Thermophilic *Bacillus*. *Enzyme and Microbial Technology*. 25, 433-438.
- Matpan Bekler, F., Acer, Ö., Güven, K. 2015a. Co Production of Thermostable Calcium Independent Amylase And Alkali Metallo Protease From Newly Isolated *Bacillus licheniformis* Dv3. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 16, 21-30.
- Matpan Bekler, F., Acer Ö., Güven, K., (2015b) Production and purification of novel thermostable alkaline protease from *Anoxybacillus* sp. KP1. *Cellular and Molecular Biology*, 61(4), 118-125.
- Matpan Bekler, F., Güven, K., Gül Güven, R., 2020. Purification and characterization of novel  $\alpha$ -amylase from *Anoxybacillus ayderensis* FMB1, *Biocatalysis and Biotransformation*,
- Maugeri, T.L., Gugliandolo, C., Caccamo, D., Stackebrandt, E., 2001. Polyphasic Taxonomic Study of Thermophilic *Bacilli* from Shallow, Marine Vents System. *Applied. Microbiology*, 24, 572-587.
- Najafi, M.F., Sariri, R., 2006. Extraction and Identification of Alkaline Protease Producing Thermophilic Bacteria from Soil. Master Thesis. Ministry of Science and Technology, Faculty of Science, Iran.
- Özşahin, AD., 2006. Kahramanmaraş ili Kağıt Fabrikaları Çevresinden İzolasyonu Yapılan *Bacillus* sp. Suşlarından Elde Edilen Selüloz Enziminin Karakterizasyonu ve Biyoteknolojide Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Park, I.J., Yoon, J.C., Park, S.J., Kim, E.H., Chp, Y.J., Shin, K.S., 2003. Characterization of the Proteolytic Activity of Bacteria Isolated from a Rotating Biological Contactor. *The Journal of Microbiology*, 41, 73-77.
- Poli, A., Esposito, E., Lama, L., Orlando, P., Niccolaus B., Appolonia, F., Gambacorta, A., Nicolaus, B., 2006. *Anoxybacillus amylolyticus* sp. nov., a Thermophilic Amylase Producing Bacterium Isolated from Mount Rittmann (Antarctica) *Systematic and Applied Microbiology*. 29, 300-307.
- Raul, D., Biswas, T., Mukhopadhyay, S., Das, S.K., Gupta, S., 2014. Production and Partial Purification of Alpha Amylase from *Bacillus subtilis* (MTCC 121) Using Solid State Fermentation. *Biochemistry Research International* 2014, 568141.
- Rey, M.W., Ramaiya, P., Nelson, B.A., Brody-Karpin, S.D., Zaretsky, E.J., Tang, M., 2004. Complete genome sequence of the industrial bacterium *Bacillus licheniformis* and comparisons with closely related *Bacillus* species. *Genome Biology*, 5, R77.
- Sookkheo, B., Sinchaikul, S., Phutrakul, S.T.C., 2000. Purification and Characterization of the Highly Thermostable Proteases from *Bacillus stearothermophilus* TLS33. *Protein Expression and Purification*. 20, 142-151.
- Stamford, T., Stamford, N., Coelho, L., Araujo, J., 2001. Production and characterization of a thermostable  $\alpha$ -amylase from *Nocardiopsis* sp. endophyte of yam bean, *Biosource Technology*, 76, 137-141.
- Uhlig, H., 1998. Industrial enzymes and their applications. John Wiley&Sons, INC. New York.
- Yılmaz, F. 2002. *Bacillus* Türleri. Bitirme Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen Edebiyat Fakültesi Rize.



## Dişi *Salmo Trutta Macrostigma* (Dumeril, 1858) 'nın Kas Dokusu Yağ Asidi İçeriğinin Mevsimsel Değişimi

Semra Kaçar<sup>1\*</sup>, Hacer Kaya<sup>2</sup>, Mehmet Başhan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Mardin

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Ana Bilim Dalı, Diyarbakır

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

\*semrakacar21@gmail.com<sup>ID</sup>, hacerkayhan21@gmail.com<sup>ID</sup>, mehmetbashan@gmail.com<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 18.01.2021, Makale kabul tarihi: 18.08.2021

### Öz

Bu çalışmada, dişi *Salmo trutta macrostigma*'nın kas dokusunun yağ asidi bileşiminin mevsime bağlı değişimleri araştırılmıştır. Dişi balıkların kas dokusu total lipit yağ asidi içerikleri; standart kullanılarak, gaz kromatografi ile belirlenmiştir. *S. trutta macrostigma*'nın toplam lipit içeriği yıl içinde % 1,44-1,90 arasında değişmiştir. *S. trutta macrostigma*'nın bileşiminde toplam 18 farklı yağ asidi belirlenmiştir. Palmitik asit her mevsimde başlıca doymuş yağ asidi olarak bulunmuştur. Oleik asit bütün mevsimlerde başlıca tekli doymamış yağ asidi (MUFA) olarak bulunmuştur (%16,47-24,13). Dokosaheksaenoik asit-DHA (22:6 n-3), linolenik asit (18:3 n-3), linoleik asit (18:2 n-6) ve eikosapentaenoik asit-EPA (20:5 n-3) çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) arasında en baskın olanlardır.

Dişi kas dokusundan ekstrakte edilen total lipitlerde SFA % 29,26- 35,75, MUFA % 22,17-37,48 arasında değişmiştir. PUFA yüzdesi, % 31,36-43,83 arasında bulunmuştur.

Genel olarak n-3 yağ asitleri yüzdeleri, n-6 yağ asitleri yüzdelerinden daha yüksek belirlenmiştir. Tüm mevsimlerde kas dokusundaki toplam lipitlerde PUFA içinde EPA (% 6,41-9,70) ve DHA (% 7,27-22,55) olmuştur. Çalışmada, balığın kas toplam lipitlerinde n-3/n-6 oranı; 2,79 - 5,34 arasında tespit edilmiştir. Dişi *S. trutta macrostigma*'nın kas dokusunda yağ asitleri; üreme, sıcaklık ve mevsime göre değişmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mevsimsel yağ asidi dağılımı, Munzur Nehri, *S. trutta macrostigma*

## Seasonal variation on the fatty acid composition in the muscle tissue of female *Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858)

### Abstract

In this study, seasonal variations on fatty acid composition in muscle tissue of female *Salmo trutta macrostigma* was investigated. Fatty acid composition of total lipid have been determined in female muscle tissues of fishes by gas chromatography using a mixture of standard. The total lipid content varied seasonally from 1.44 % to 1.90 % in *S. trutta macrostigma*. Total 18 different fatty acids were determined. Palmitic acid was identified as the major saturated fatty acid in all seasons. Oleic acid was the major MUFAs in all seasons (16.47-24.13%). Docosahexaenoic acid-DHA (22:6 n-3), linolenic acid (18:3 n-3), linoleic acid (18:2 n-6), and eicosapentaenoic acid-EPA (20:5 n-3) were found to be dominant fatty acids in polyunsaturated fatty acids (PUFAs).

The  $\Sigma$ SFA and  $\Sigma$ MUFA percentages of the total lipid extracted from muscle tissue of female fish ranged from 29.26 % to 35.75 % and from 22.17 % to 37.48 %, respectively. The  $\Sigma$ PUFA percentages was found between 31.36 % to 43.83 %.

Generally percentages of n-3 fatty acids were determined higher than percentages of n-6 fatty acids. The main constituents were EPA (6.41-9.70 %) and DHA (7.27-22.55 %) among PUFAs in the total lipid extracted from muscle tissue of all seasons. In this study, the n-3/n-6 ratio was determined to range from 2.79 to 5.34, for dorsal muscle in total lipids. The proportions of major fatty acids in tissue of female fish varied depending on reproduction period, temperature and season.

**Key words:** Seasonal fatty acid composition, Munzur River, *S. trutta macrostigma*,

## GİRİŞ

*S. trutta macrostigma*, denizden yüksekliği 100–150 m ile 2300 m arasında değişen ve yaz mevsiminde su sıcaklığının 20°C'ye kadar yükselebildiği habitatlarda dağılım gösterir (Yüksel ve ark., 2020a, Yüksel ve ark., 2020b). Yumurtlama dönemleri aralık-şubat dönemleridir. Bu balık türleri karnivordur, besinlerini çoğunlukla akuatik böcekler oluşturur.

Bu tür, lezzetiyle ekonomik bir değer oluşturduğu gibi turizm için de önemli bir potansiyel oluşturmaktadır.

Başta alabalık olmak üzere balık eti, besinsel bileşenlerinin zengin olması nedeniyle, insanların hayvansal protein gereksinimlerinin karşılanmasında önemli besin kaynağıdır (Justi ve ark., 2003). Balık etinin lezzetli olması, yapısındaki yağlardan ve yağ asitlerinden kaynaklanır (Turan ve ark., 2006). Balıkların önemli biyokimyasal bileşenleri olan yağlar, insan organizması için gerekli öğelerden biridir (Akpınar, 1986). Ayrıca balık; önemli bir hayvansal protein kaynağıdır (esansiyel amino asitler bakımından zengindir). Proteinler insan vücudunun gelişimi, büyümesi ve yıpranmış dokuların onarımı için önemlidir (Mohanty, 2015). Balıklar; selenyum, demir, iyot, kalsiyum, A, D ve B12 gibi temel vitaminleri ile mineralleri içerir (Kaya ev ark., 2004; Wine ve ark., 2012). Bu vitamin ve mineraller; vücudun tüm bölgelerine oksijen taşınması için, güçlü kemikler, normal görme ve sinir sistemi için gereklidir. Balık ve balık yağları, besin zincirindeki fitoplankton ve deniz yosunundan kaynaklanan EPA ve DHA gibi n-3 yağ asitlerini içerir (Sushchik ve ark., 2007).

Balık yağlarının; çocukluk çağı astımı, kardiyovasküler hastalık, hipertansiyon, Alzheimer hastalığı ve duyu durum bozukluklarını önlemeye yardımcı olduğu iddia edilmektedir (Haliloğlu, 2001; Haliloğlu ve ark., 2002; Aras ve ark., 2003a, b).

Balık türleri arasında; besinin bulunup bulunmaması, mevsim, ter, cinsiyet, diyet ve yaş gibi faktörlere bağlı olarak yağ ve yağ asidi bileşiminde değişimler olacağı bir çok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Sargent, 1995; (Shirai ve ark., 2002; Kaushik ve ark., 2006).

Lipid ve yağ asidi bileşiminin balık dokuları arasında bile değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Balıkların insan beslenmesinde kullanılan ana kısmı genellikle kastır. Bu nedenle, doğal ekosistemlerinde yaşayan balıkların kas ya da diğer dokuların yağ asidi profillerinin analizi değerli bilgiler verebilir (Rodriguez ve ark., 2004).

Tatlısu ve deniz balıkları arasında yağ asidi bileşimi açısından da farklılıklar vardır. Tatlı su balıkları genellikle deniz balıklarından daha düşük seviyede n-3 PUFA içerdiği kabul edilir. Ancak tatlı su balıklarında, zincir uzaması ve desaturasyon süreçleri deniz balıklarına oranla daha etkindir. Böylece tatlı su balıkları besin değeri yüksek bir gıdaya dönüşebilir (Jankowska ve ark., 2003).

Çalışmamızda gonad gelişimi ve yumurtlama nedeniyle biyokimyasal bileşimdeki değişikliklere daha yatkın olduğundan dişi balıklar kullanılmıştır. Bu alabalık türü üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Güler ve ark., 2017; Antao-Geraldes ve ark., 2018; erdem ve ark., 2020; Kaçar ve ark., 2021). Fakat Munzur Nehri'nden dişi *S. trutta macrostigma*'nın kas dokusundaki yağ asidi kompozisyonunun mevsimsel değişikliklerin etkileri hakkında çalışma yoktur.

Bu çalışmada; Munzur Nehri'nden toplanan *S. trutta macrostigma*'nın kas dokusu yağ asitlerinin mevsimsel içeriğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, dişi *S. t. macrostigma*, Munzur Nehri'nden kasım 2009 ile eylül 2010 arasında iki ayda bir toplanmıştır. Çalışma alanının coğrafi koordinatları: 39° 21' 67" Kuzey ve 39° 13' 55" Doğu.

Üç dişi balığın, sırt yüzgeçleri ile yan hat (linea lateral) arasındaki bölgeden deri yüzüldükten sonra 2 gr kas örnekleri alınmıştır. Alınan kas dokusu kloroform-metanol (2:1 v/v) karışımında yüksek devirli IKA marka (Alman) homojenizatörde Folch ve ark., (1957) ekstrakte edilmiştir. Yağ asitleri, Stanley-Samuelson ve Dadd (1983) tarafından açıklanan prosedüre transesterifiye edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin ayrılması ve miktarlarının tayini için FID dedektörlü gaz kromatografi cihazı (HP 6890) kullanılmıştır. Kromatografik koşullar: başlangıç kolon sıcaklığı: 130 °C, bekleme süresi, 1 dakika; 170 °C'ye 6.5 °C/dakika; 215 °C'ye 2.75

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.863245

$^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ , bekleme süresi 12 dakika;  $230^{\circ}\text{C}$ 'ye  $40^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$  olacak şekilde programlanmıştır. Dedektör ve enjektör sıcaklığı sırasıyla:  $280^{\circ}\text{C}$  ve  $270^{\circ}\text{C}$ . Helyum, hidrojen ve kuru hava kullanıldı. Yağ asitlerinin alıkonma süreleri, standart olarak yağ asitlerinin metil esterleri karışımı (Sigma-Aldrich Chemicals) ile karşılaştırılarak belirlendi. Yağ asitleri yüzdelерinin karşılaştırılmasında SPSS 16 bilgisayar programı uygulanmıştır. Yağ asidi yüzdeleri arasındaki farklılıklar tek yönlü Anova ile analiz edildi.

Farklılıklar TUKEY HSD testi ile saptanmıştır. İstatistikler farklar,  $p < 0.05$  düzeyinde anlamlı kabul edilmiştir.

10.12.2009/ 1 no'lu kararı ile Dicle Üniversitesi'nden Etik Kurul Onayı alınmıştır.

Çalışmamızda bütün veriler üç tekrarın ortalamasından elde edilmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Dişi alabalıkların lipid içeriği Tablo 1'de sunulmuştur. Dişi *S. trutta macrostigma*'nın total lipid içeriği sırasıyla Kasım, Ocak, Nisan, Haziran, Temmuz ve Ekim aylarında; %1,44, %1,79, %1,90, %1,70, %1,60, %1,90 olarak bulunmuştur.

Alabalıklarda lipid oranının %1,0 ile %4,5 arasında olduğu belirtilmiştir (Blanchet ve ark., 2005, Kaushik ve ark., 2006). *S. trutta farma fario*'nun doğal olanlarında %2,80 kültürlerde ise %3,62 olarak belirlenmiştir (Erdem 2006). Portekiz'de *S. trutta* üzerinde yapılan bir çalışmada total lipid içeriğinin doğal olan balıklarda %0,65, kültür olan

balıklarda ise %1,55 olduğu saptanmıştır (Antao-Geraldes ve ark., 2018).

Üreme döneminde lipidler ve proteinler kastan gonadlara aktarılır (Love, 1970). Ayrıca balıkların enerji kaynağı olarak karbonhidratlardan ziyade lipidleri tercih ettikleri ve cinsel olgunlaşma sırasında bunlara ihtiyaç duydukları bilinmektedir (Bayır ve ark., 2010).

Total lipid oranının üreme zamanından, sıcaklık ve mevsim ve besin miktarından etkilendiği bilinmektedir.

Dişi balıkların kas dokusunda tüm mevsimlerde; 16:0 ve 18:0, 18:1n-9 ve 16:1n-7, 22:6n-3 ve 20:5n-3 en fazla tespit edilen yağ asitleridir. Alabalıkların  $\Sigma\text{SFA}$  değerleri %29,26-35,75 arasında bulunmuştur.  $\Sigma\text{SFA}$ 'ların çoğunu 16:0 (%19,85-24,99) yağ asidi oluşturmaktadır. Bu çalışmada dişi alabalığın kas dokusunda ana SFA olarak 16:0'dır. Doymuş yağ asitleri içinde en fazla bulunan yağ asidi, 16:0'dan sonra 18:0 (%4,95-5,78)'dir.

Alabalıkların  $\Sigma\text{MUFA}$  miktarı %22,17 (Nisan)-%37,48 (Haziran), olarak tespit edilmiştir. MUFA'lar içerisinde; 18:1n-9 (%16,47-24,13) ve 16:1n-7 (%3,43-8,85) yüzde dağılımda en fazla bulunan yağ asitleri olmuştur. Alabalıkların  $\Sigma\text{PUFA}$  miktarı %31,36 (Haziran)-%47,23 (Nisan), arasında olduğu belirlenmiştir. Nisan ayında, 22:6n-3 ve 20:5n-3 ve  $\Sigma\text{PUFA}$  oranının en fazla olduğu belirlenmiştir. EPA ve DHA miktarı %6,41-9,70, %7,27-22,55 arasında bulunmuştur. N-3/n-6 oranı da, 2,79 (Ekim)-5,34 (Nisan) olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Dişi *S. trutta macrostigma*'nın ortalama boy (cm), ağırlık (gr) ve yaş ağırlığa göre kas total lipid yüzdeleri

	Kasım (2009)	Ocak (2010)	Nisan (2010)	Haziran (2010)	Temmuz (2010)	Ekim (2010)
Boy(cm) (ORT $\pm$ S.H)	25 $\pm$ 0.14a	37 $\pm$ 0.13b	28 $\pm$ 0.08ac	30 $\pm$ 0.21c	19,4 $\pm$ 0.11d	26,3 $\pm$ 0.16ac
Ağırlık (gr) (ORT $\pm$ S.H)	179 $\pm$ 0.44a	578 $\pm$ 1.00b	222 $\pm$ 0.65c	308 $\pm$ 0.55d	97,5 $\pm$ 0.16e	198 $\pm$ 0.41a
Yaş ağırlığa göre kastaki total lipid % (ORT $\pm$ S.H)	1,44 $\pm$ 0.44a	1,79 $\pm$ 0.41b	1,90 $\pm$ 0.35b	1,70 $\pm$ 0.29b	1,60 $\pm$ 0.24ab	1,90 $\pm$ 0.54b

Aynı satırda aynı harfle belirtilen veriler birbirinden farklı değildir ( $P > 0.05$ )

**Tablo 2.** Dişi *S. trutta macrostigma*'nın kasında bulunan yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ Asidi	Kasım(2009)	Ocak(2010)	Nisan(2010)	Haziran(2010)	Temmuz(2010)	Ekim(2010)
12:0 <sup>s</sup>	0,62 $\pm$ 0.008a	0,16 $\pm$ 0.02b	0,21 $\pm$ 0.03b	0,26 $\pm$ 0.01b	0,49 $\pm$ 0.023c	-

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.863245

13:0	-	-	-	0,89±0.03	-	-
14:0	2,97±0.21a	1,45±0.27b	1,61±0.26b	3,50±0.21c	3,15±0.21ac	2,24±0.11a
15:0	1,03±0.04a	0,46±0.05b	0,36±0.06b	0,16±0.10c	0,19±0.04c	0,28±0.07bc
16:0	24,70±0.27a	24,80±0.42a	22,08±0.25b	19,85±0.13b	24,99±0.64a	21,16±0.58ab
17:0	1,06±0.05a	0,52±0.06b	0,49±0.08b	0,90±0.05a	0,90±0.05a	0,63±0.08ab
18:0	5,37±0.25a	5,51±0.29a	5,78±0.35b	5,29±0.21a	5,19±0.32a	4,95±0.31c
<b>ΣS.F.A ***</b>	<b>35,75±0.82a</b>	<b>32,90±0.63b</b>	<b>30,53±0.70c</b>	<b>30,85±0.92c</b>	<b>34,91±0.98ab</b>	<b>29,26±0.66d</b>
16:1 n-7	6,90±0.22a	3,43±0.12b	4,68±0.17c	8,47±0.31d	8,30±0.43d	8,85±0.29d
18:1 n-9	21,75±0.12a	19,43±0.20b	16,47±0.35c	24,13±0.53d	19,33±0.54b	23,71±0.87d
20:1 n-9	0,75±0.02a	0,33±0.01b	1,02±0.03a	4,88±0.09c	2,84±0.13d	1,54±0.16ad
<b>ΣM.U.F.A.</b>	<b>29,40±0.62a</b>	<b>23,19±0.48b</b>	<b>22,17±0.43b</b>	<b>37,48±0.87c</b>	<b>30,47±0.65d</b>	<b>34,10±0.98cd</b>
18:2 n-6	6,03±0.23a	4,71±0.17b	4,33±0.20b	4,46±0.12b	3,97±0.30c	6,90±0.35a
18:3 n-3	6,25±0.10a	3,55±0.15b	3,87±0.11b	6,68±0.12a	6,33±0.22a	9,80±0.18c
20:2 n-6	0,35±0.06a	0,34±0.02a	0,32±0.06a	0,26±0.03b	0,23±0.05b	0,48±0.13d
20:3 n-6	0,43±0.11a	0,47±0.02a	0,42±0.02a	0,22±0.12b	0,34±0.03ab	0,26±0.04b
20:4 n-6	1,43±0.24a	2,42±0.09b	2,37±0.15b	1,38±0.06a	1,85±0.09ab	1,71±0.15ab
20:5 n-3	7,10±0.13a	7,76±0.19a	9,70±0.42b	6,41±0.25c	8,29±0.27ab	6,73±0.17c
22:5 n-3	2,50±0.08a	3,31±0.06b	3,67±0.19b	2,33±0.08a	2,65±0.12a	2,34±0.11a
22:6 n-3	10,56±0.36a	21,27±0.32b	22,55±0.44b	9,62±0.91a	10,84±0.39a	7,27±0.33c
<b>ΣP.U.F.A</b>	<b>34,65±0.95a</b>	<b>43,83±1.00b</b>	<b>47,23±0.96c</b>	<b>31,36±1.03d</b>	<b>34,50±0.97a</b>	<b>35,49±1.10a</b>
n-3	26,41±0.40a	35,89±0.67b	39,79±0.58c	25,04±0.83a	28,11±0.62d	26,14±0.68a
n-6	8,24±0.16a	7,94±0.19a	7,44±0.42a	6,32±0.39b	6,39±0.26b	9,35±0.52c
n-3/n-6	3,20	4,52	5,34	3,96	4,39	2,79

\*Her veri 3 tekrarin ortalamasidir.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata

Balıkların kas total lipidindeki doymuş yağ asitleri, tekli doymamış yağ asitleri ve çoklu doymamış yağ asitleri toplamının mevsime bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. En fazla bulunan yağ asitleri, SFA'lerden 16:0 ve 18:0, MUFA'lerden 18:1n-9 ve 16:1n-7, PUFA'lerden ise EPA ve DHA'dır. Bu veri, daha önce farklı yerlerden alınan *S. trutta macrostigma* ve diğer tatlı su balıklarından elde edilenlere benzer olduğu görülmüştür (Aras ve ark., 2003a,b; Akpınar ve ark., 2009; Cengiz ve ark., 2010; Kaçar ve Başhan, 2016). Bu çalışmada, 16:0 temel SFA olarak belirlenmiştir. Diğer baskın SFA'lar her mevsimde de 18:0'dır. *S. trutta macrostigma* ile yapılan diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Akpınar ve ark., 2009; Haliloğlu ve ark., 2005). Portekiz'de yapılan çalışmada palmitik asit, kültür balıklarında doğal balıklarına oranla daha yüksek bulunmuştur. Diğer baskın SFA olan 18:0 ise doğal alabalıklarında kültür balıklarına oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Antao-Geraldes ve ark., 2018).

Total SFA miktarının kasım ayında en fazla yüzdede olduğu saptanmıştır. ΣSFA ile 16:0 ve

18:0 asitleri miktarının üreme dönemi ve su sıcaklığından fazla oranda etkilenmediği belirlenmiştir. Total SFA'lar içinde en fazla 16:0 yağ asidi bulunmuştur ve ΣSFA miktarının 16:0'daki farklılıklardan etkilendiği görülmüştür. 16:0 miktarında, mevsime bağlı önemli değişimler olmadığı belirlenmiştir. Bu da 16:0'ın miktarının besinden etkilenmediğini gösterir (Ackman ve ark., 1975; Ackman ve Takeuchi, 1986; Kayhan ve ark., 2015). Aynı türün erkek bireyleri üzerinde yapılan çalışmada; SFA'ların çoğunu 16:0 oluşturmuştur ve SFA miktarının da 16:0'ın değişimlerden etkilendiği saptanmıştır (Kaçar ve ark., 2021). Gezende Baraj Gölü'nden toplanan *S. trutta macrostigma*'da total SFA %28,38 olup (Güler ve ark., 2017) çalışmamızdaki sonuçlara yakın olduğu görülmüştür.

En düşük ΣMUFA nisan ayında, en yüksek ΣMUFA haziran ayında belirlenmiştir. En fazla bulunan tekli doymamış yağ asitleri 18:1n-9 ve 16:1n-7 yağ asitleridir. Tablo 2'de görüldüğü gibi 18:1n-9 her mevsimde de başlıca MUFA olarak bulundu. Oleik asit, balıklarda karakteristik tekli doymamış yağ asididir (Steffens, 1997). Aynı

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.863245

türün erkek balıklarında yapılan çalışmada da;  $\Sigma$ MUFA'da, 16:1n-7 ve 18:1n-9 fazla olduğu belirlenmiştir (Kaçar ve ark., 2021). Gökkuşluğu alabalığı ile yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar belirlenmiştir (Haliloğlu ve ark., 2004, Görgün ve Akpınar 2007). Gezende Baraj Gölü'nden toplanan *S. trutta macrostigma*'da MUFA %26,84 bulunmuş (Güler ve ark., 2017) ve çalışmamızda kasım ile ocak aylarındaki sonuçlara yakın olduğu belirlenmiştir.

Diğer alabalıklar üzerinde yapılan çalışmalarda da belirlendiği gibi n-6 yağ asitlerinden en fazla bulunan 18:2n-6'dır (Aras ve ark., 2003a,b; Akpınar ve ark., 2009; Kalyoncu ve ark., 2010; Kaçar ve ark., 2021). Bu bileşen sonbahar döneminde artmıştır. Linolenik asit miktarı en fazla ekim ayında, en düşük ise üreme dönemi olan ocak ayında belirlenmiştir. Aynı türün erkek bireylerinde ise üreme dönemi olan ocak ayında diğer aylara oranla oldukça yüksek bulunmuştur (Kaçar ve ark., 2021). DHA tüm mevsimlerde en fazla bulunan n-3 yağ asididir. DHA'nın ekim ayında en düşük seviyede olduğu, nisan ayında ise en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca her dönemde DHA'nın EPA'dan fazla olduğu belirlenmiştir. Erkek *S. trutta macrostigma* ile yapılan çalışmada (Kaçar ve ark., 2021) bu çalışmada olduğu gibi dişi *S. trutta macrostigma*'nın DHA oranı nisan ayında ise en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bir diğer benzer bulgu da, her dönemde DHA miktarının EPA miktarından fazla olmasıdır. Bu bulgulara dayanarak *S. trutta macrostigma*'nın EPA ve DHA'nın iyi bir kaynağı olduğu ve insan beslenmesinde önemli olduğu söylenebilir. Daha önce yapılan çalışmalarda içlerinde *S. trutta macrostigma*'nın da bulunduğu farklı alabalık türü incelenmiş ve en çok bulunan n-3 yağ asitlerinin DHA ve EPA olduğu saptanmıştır (Haliloğlu ve ark., 2002; Aras ve ark., 2003a, b; Görgün ve Akpınar, 2007; Kaya ve Erdem, 2009; Kalyoncu ve ark., 2010). *S. trutta macrostigma* üzerinde yapılan başka bir çalışmada (Güler ve ark., 2017) total PUFA oranı %44,77 bulunup çalışmamızda ocak ayındaki değere yakın bir değer olduğu görülmüştür. Doğal balıklardaki DHA, EPA ve AA oranının kültür balıklarına oranla yüksek olması doğal ve ticari besin farklılığından kaynaklı olabilir (Antao-Geraldes ve ark., 2018). Bu PUFA'lar, kültür balıklarının diyetlerinde fitoplankton ve

sucul organizmalardan kaynaklanan lipidlerin eksikliğinden dolayı genellikle doğal balıklarından daha düşüktür (Ackman ve Takeuchi, 1986; Soumela ve ark., 2016). Doğal alabalıklar, larva ve yetişkin böceklerin yanı sıra kabuklular, annelidler ve gastropod ile bazen diğer balıklardan oluşan geniş bir etçil beslenmeye sahiptir. Ayrıca doğal kahverengi alabalıkların beslenme davranışı, yaş ve mevsimsel av bolluğu ile doğrudan ilişkilidir (Dal Bosco ve ark., 2013). Çalışmamızda dişi balıkların DHA miktarı üreme dönemi olan ocak ayında fazla iken aynı türün erkek balıklarıyla yapılan çalışmada (Kaçar ve ark., 2021) üreme dönemi olan ocak ayında önemli ölçüde düşük bulunmuş olması, gonat olgunlaşmasının başlamasıyla kaslardaki DHA'nın gonatlara taşınmış olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Jeong ve ark., 2002).

Balıklarda; n-3/n-6 oranının farklı olması balığın beslenmesine, mevsime, toplandığı bölgeye, eşeyssel olgunluğuna, çevre koşulları gibi faktörlere bağlıdır (Kayhan ve ark., 2015). Dişi bireylerde yıl içerisinde n-3 yağ asitlerinin n-6 yağ asitlerinden daha fazla değişime uğradığı ve her mevsimde n-3 PUFA miktarının n-6 PUFA'lardan yüksek olduğu belirlenmiştir. N-3/n-6 oranı, 2.79-5.34 bulunmuştur. Analiz sonucunda dişi *S. trutta macrostigma* n-3/n-6 oranının birçok tatlı su balığına oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır (Haliloğlu ve ark., 2002; Çelik ve Gökçe, 2003; Güler ve ark., 2007).

## SONUÇ

İncelediğimiz balıklarda özellikle DHA oranının yüksek olması, bu balıkların besinsel olarak değerli olduklarını göstermektedir. Ayrıca çalışmamızda EPA ile linoleik asit içeriğinin de zengin olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak; örneklerimizin kas total lipid kalitatif yağ asidi içeriğinin, daha önce çalışılan diğer tatlı su balıklarına benzediğini, kantitatif içeriğin ise balıklarda farklı olduğunu söyleyebiliriz. Bunun başlıca nedenleri; besin, sıcaklık, balığın yakalandığı lokalite veya coğrafik bölge gibi faktörler olabilir.

**Teşekkür:** Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 09-FF-48 no'lu proje ile desteklenmiştir. Çalışma yüksek lisans tezinin bir kısmını içermektedir.

## KAYNAKLAR

### References

- Ackman, R.G. Eaton, C.A. ve Linne, B.A. (1975). Differentiation of freshwater characteristics of fatty acids in marine specimens of the Atlantic Sturgeon (*Acipenser oxyrhynchus*). Fishery Bulletin, 73, 83.
- Ackman, R.G. ve Takeuchi, T. (1986). Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery-fed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). Lipids, 21, 117-120.
- Akpınar, M.A. (1986). *Cyprinus carpio* L. (Osteichthyes: Cyprinidae)'nın karaciğer ve kasındaki total lipit ve total yağ asidinin mevsimsel değişimi. C.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 4,33-42.
- Akpınar, M.A. Görgün, S. ve Akpınar, A.E. (2009). A comparative analysis of the fatty acid profiles in the liver and muscles of male and female *Salmo trutta macrostigma*. Food Chemistry, 112, 6-8.
- Antao-Geraldes, A. M. Hungulo, S.R. Pereira, E. Teixeira, A. Ve Rodrigues, S. (2018). Body composition and sensory quality of wild and farmed brown-trout (*Salmo trutta*) and farmed rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*). Ciencia rural, 48(9).
- Aras, N.M. Haliloğlu, H.I. Ayık, Ö. ve Yetim, H. (2003a). Comparison of fatty acid profiles of different tissues of mature trout (*Salmo trutta labrax*, Pallas, 1811) caught from Kazandere Creek in the Çoruh Region, Erzurum, Turkey. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 27, 311-316.
- Aras, N.M. Haliloğlu, H.İ. Bayı, A. Atamanalp, M. ve Sirkecioğlu, A.N. (2003b). Karasu Havzası Yeşildere Çayı Olgun Dere Alabalıkları (*Salmo trutta macrostigma*, Dumeril, 1858)'nda farklı dokuların yağ asidi kompozisyonlarının karşılaştırılması. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 27, 887-892.
- Bayır, A., Sirkecioğlu, A.N., Aras, N.M., Aksakal, E., Halilolu, H.I. ve Bayır, M. (2010). Fatty acids of neutral and phospholipids of three endangered trout: *Salmo trutta caspius* Kessler, *Salmo trutta labrax* Pallas and *Salmo trutta macrostigma* Dumeril. Food Chemistry, 119,1050- 1056.
- Blanchet, C., Lucas, M., Julien, P., Morin, R., Gingras, S. ve Dewailly, E. (2005). Fatty acid composition of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Lipids, 40, 529-531.
- Cengiz, E.İ. Ünlü, E. ve Başhan, M. (2010). Fatty acid composition of total lipids in muscle tissues of nine freshwater fish from the River Tigris (Turkey). Turkish Journal of Biology, 34, 433-438.
- Çelik, M. ve Gökçe, M.A. (2003). Çukurova (Adana) Bölgesinden beş ayrı *Tilapia* türünün yağ asidi içeriklerinin tespiti. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 27 (1), 75-79.
- Dal Bosco, A. Mugnai, C. Roscini, V. Ve Castellini, C. (2013). Fillet fatty acid composition, estimated indexes of lipid metabolism and oxidative status of wild and farmed brown trout (*Salmo trutta* L.) Italian Journal of Food Science, 25(1), 83-89.
- Folch, J. Lees, M. ve Stanley, A. (1957). Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. The Journal of Biological Chemistry, 226, 497-509.
- Erdem, M.E. (2006). Doğu Karadeniz Bölgesinde doğadan avlanan ve yetiştiriciliği yapılan dere alabalığının (*Salmo trutta forma fario* Linnaeus, 1758) et kalitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Ondokuz Mayıs Ün. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, Samsun.
- Erdem, Ö.A. Alkan, B. ve Dinçer, M.T. (2020). Comparison on nutritional properties of wild and cultured brown trout and Atlantic salmon. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37 (1), 37-41.
- Geldiay, R. ve Balık, S. (1996). Türkiye tatlı su balıkları, Ege Ün. Su Ürün. Fak. Yayın No: 46. Ders Kitabı. Dizin No: 16, Ege Ün. Basımevi, Bornova, İzmir.
- Görgün, S. ve Akpınar, M.A. (2007). Liver and muscle fatty acid composition of mature and immature Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed two different diets. Journal of Muscle Foods, 62 (3), 351-355.
- Gunstone, F. (1996). Fatty Acid and Lipid Chemistry. Blackie Acad. Prof. London, U.K.
- Güler, G.O. Aktümsek, A. Çitil, O.B. Arslan, A. ve Torlak, E. (2007). Seasonal variations on total fatty acid composition of filets of Zander (*Sander lucioperca*) in Beyşehir Lake (Turkey). Food Chemistry, 103, 1241-1246.
- Güler, G.O. Zengin, G. Çakmak, Y.S. ve Aktümsek, A. (2017). Comparison of fatty acid composition and  $\omega$ 3/ $\omega$ 6 ratios of wild Brown trout and cultured rainbow trout. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17, 1179-1187.
- Haliloğlu, H.I. (2001). Farklı işletmelerde yetiştirilen Gökkuşluğu Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) adipoz, gonad, karaciğer, kas dokuları yağ asidi profillerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü Su ürünleri A.B.D, Erzurum.
- Haliloğlu, H.I. Aras, N.M. ve Yetim, H. (2002). Comparison of muscle fatty acids of three trout

- species (*Salvelinus alpinus*, *Salmo trutta fario*, *Oncorhynchus mykiss*) raised under the same conditions. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 26, 1097-1102.
- Haliloğlu, H.İ. Bayır, A. Sirkecioğlu, A.N. Aras, N.M. ve Atamanalp, M. (2004). Comparison of fatty acid composition in some tissues of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater. Food Chemistry, 86, 55-59.
- Haliloğlu, H.İ. Bayır, A. Sirkecioğlu, A.N. ve Aras, N.M. (2005). Fatty acid profiles of different tissues in mature trout (*Salmo trutta macrostigma*) from Pular Creek in Karasu Region, Turkey. Journal of Applied Animal Research, 27(2), 81-84.
- Jankowska, B. Zakes, Z. Zmijewski, T. ve Szczepkowski, M. (2003). A comparison of selected quality features of the tissue and slaughter yield of wild and cultivated pikeperch Sander lucioperca (L). European Food Research and Technology, 217, 401-405.
- Jeong, B.Y. Jeong, W.G. Moon, S.K. ve Ohshima, T. (2002). Preferential accumulation of fatty acids in the testis and ovary of cultured and wild sweet smelt *Plecoglossus altivelis*. Comparative Biochemistry and Physiology, 131, 251-259.
- Justi, K.C. Hayashi, C. Visentainer, J.V. de Souza, N.E. ve Matusushita, M. (2003). The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids, Food Chemistry, 80, 489-493.
- Kaçar, S. ve Başhan, M. (2016). Comparison of lipid contents and fatty acid profiles of freshwater fish from the Atatürk Dam Lake. Turkish Journal of Biochemistry, 41(3), 150-156.
- Kaçar, S. Kayhan, H. ve Başhan, M. (2021). Seasonal effects of the fatty acid composition of phospholipid and triacylglycerol in muscle and liver of male *Salmo trutta macrostigma*. Grasas y Aceites. 72 (4), e435.
- Kalyoncu, L. Yaman, Y. ve Aktumsek, A. (2010). Determination of the seasonal changes on the total fatty acid composition of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* in Ivriç Dam Lake, Turkey. African Journal of Biotechnology, 9(30), 4783-4787.
- Kaushik, S.J. Corraze, G. Radunz-Neto, J. Larroquet, L. ve Dumas, J. (2006). Fatty acid profiles of Wild Brown Trout and Atlantic Salmon Juveniles in the Nivelles basin. Journal of Fish Biology, 68, 1376-1387.
- Kaya, Y. Duyar, H.A. ve Erdem, M.E. (2004). Balık yağ asitlerinin insan sağlığı için önemi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 21(3-4), 365-370.
- Kaya, Y. ve Erdem, M.E. (2009). Seasonal comparison of wild and farmed Brown Trout (*Salmo trutta forma fario* L.,1758): Crude lipid, gonadosomatic index and fatty acids. International Journal of Food Science and Nutrition, 60, 413-423.
- Kayhan, H., Başhan, M. ve Kaçar, S. (2015). Seasonal variations in the fatty acid composition of phospholipids and triacylglycerols of brown trout. European Journal of Lipid Science and Technology, 117(5), 738-744.
- Love, M. (1970). The Chemical Biology of Fishes. Academic Press, 547p. New York.
- Mohanty, B.P. (2015). Nutritional value of food fish. Conspectus of Inland Fisheries Management, 4, 15-21.
- Rodriguez, C. Acosta, C. Badia, P. Cejas, J.R. Santamaria, F.J. ve Lorenzo, A. (2004). Assessment of lipid and essential fatty acids requirements of black seabream (*Spondyliosoma cantharus*) by comparison of lipid composition in muscle and liver of wild and captive adult fish. Comparative Biochemistry and Physiology, 139 (B), 619-629.
- Sargent, J.R. (1995). Origins and Function of Lipids in Eggs. In: Bromage, N.R., Roberts, R.J. (Eds.), Broodstock Management and Egg and Larval Quality, Blackwell, Oxford, 353-372.
- Shirai, N. Terayama, M. ve Takeda, H. (2002). Effect of season on the fatty acid composition and free amino acid content of the Sardine *Sardinops melanostictus*. Comparative Biochemistry and Physiology, 131, 387-393.
- Stanley-Samuelson, D.W. ve Dadd, R.H. (1983). Long-chain polyunsaturated fatty acids: patterns of occurrence in insects. Journal of Food Science and Technology, 13, 549-558.
- Steffens, W. (1997). Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans. Aquaculture, 151(1-4), 97-119.
- Suomela, J.P. Lunden, S. Kaimainen, M. Mattila, S. Kallio, H. ve Airaksinen, S. (2016). Effects of origin and season on the lipids and sensory quality of European White fish (*Coregonus lavaretus*). Food Chemistry, 197, 1031-1037.
- Sushchik, N.N. Gladyshev, M.I. ve Kalachova, G.S. (2007). Seasonal dynamics of fatty acid content of a common food fish from the Yenisei River, Siberian grayling, *Thymallus arcticus*. Food Chemistry, 104 (4), 1353-1358.


Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.863245

- Turan, H. Kaya, Y. ve Sönmez, G. (2006). Balık etinin besin değeri ve insan sağlığındaki yeri. E.U. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 23 (1/3), 505-508.
- Wine, O. Osornio-Vargas, A.R. ve Buka, I.S. (2012). Fish consumption by children in Canada. Review of evidence, challenges and future goals. Paediatrics and Child Health, 17(5), 241-245.
- Yüksel, F. Karlıkaya, E. ve Çoban, M. (2020a). Munzur Nehri'nde Yaşayan *Salmo macrostigma* (Dumeril, 1858)'nın Morfometrik ve Meristik Özelliklerinin İncelenmesi. International Journal of Pure and Applied Sciences, 6 (2), 77-86.
- Yüksel, F. Makal, F. ve Çoban, M. (2020b). Munzur Nehri'ndeki *Salmo macrostigma* (Dumeril, 1858)'nın Bazı Büyüme Parametrelerinin Tahmini. International Journal of Pure and Applied Sciences, 6 (2), 87-98.



## Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin Rüzgâr ve Sıcaklık Etkilerinin Nümerik Olarak İncelenmesi

Ömer Faruk Can

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye  
faruk.can@dicle.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 03.05.2021, Makale kabul tarihi: 10.09.2021

### Öz

Bu çalışmada Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin rüzgâr ve sıcaklık etkileri nümerik olarak incelenmiştir. Çalışma 4 durumda ele alınmıştır. Sırasıyla rüzgârın güneydoğu (ön kısım), kuzeybatı (arka kısım), kuzeydoğu (sağ kısım) ve güney batı (sol kısım)'dan esmesi durumunda bina üzerindeki rüzgâr ve akış özellikleri incelenmiştir. Çalışma hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarında sıklıkla kullanılan ANSYS CFX yazılım programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Giriş kısmında rüzgâr hızı 40 m/s olarak alınmıştır. Giriş rüzgâr sıcaklığı 35 °C olarak verilmiştir. Rüzgâr yönlerinin tespit edilmesi için Google haritalar uygulaması yardımıyla binanın uydu görüntüleri alınmıştır. Bina yüzey sıcaklığı 25 °C olarak belirlenmiştir. Bina boyutları için gerçek ölçüler kullanılmıştır. Çalışma sonunda 4 durum için hız konturları ve akım çizgileri elde edilmiştir. Ayrıca binanın orta noktasından geçen bir çizgi boyunca ortalama hız ve sıcaklık grafikleri verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nümerik analiz, rüzgâr direnci, rüzgâr etkileri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, akım çizgileri

## Numerical Investigation of Wind and Temperature Effects of Dicle University Faculty of Engineering

### Abstract

In this study, wind and temperature effects of Dicle University Engineering Faculty were investigated numerically. The study was handled in 4 cases. In case the wind blows, respectively, from southeast (front part), northwest (rear part), northeast (right part) and south west (left part) the wind and flow characteristics on the building were examined. The study was carried out with the used ANSYS CFX software program, which is frequently used in computational fluid dynamics applications. In the entrance, wind speed has been taken as 40 m/s. Inlet wind temperature is given as 35 °C. In order to determine the wind directions, satellite images of the building were taken with the used of google maps application. Building surface temperature was determined as 25 °C. Actual dimensions are used for building dimensions. At the end of the study, velocity contours and streamlines were obtained for 4 cases. In addition, were given graphs of average velocity and temperature along a line passing through the middle of the building.

**Keywords:** Numerical analysis, wind resistance, wind effects, computational fluid dynamics, streamlines

### GİRİŞ

Rüzgâr direnci ve etkileri tüm yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Binaların yüksek rüzgâr hızına maruz kalması durumunda özellikle yüksek binalarda gürültü ve titreşime neden olabilmektedir. Rüzgâr hızının çok yüksek değerlere ulaştığı kasırga gibi doğal afetlerde gürültü ve titreşimin yanı sıra can ve mal kaybı da olabilmektedir. Özellikle köşe noktalarda hız artışı girdap artışına da neden olmaktadır. Bu durum yüzeylerde yüksek sürtünmeyle birlikte bina yüzeylerinin sıklıkla aşınmasına hatta bazı parçaların bina yüzeylerinden

ayrılmasına neden olmaktadır. Cam gibi yüzeyler kırılabilir ve yaralanmalara neden olabilmektedir. Yeni binalarda bu durumun önüne geçmek için; bir sahil kenarında dalga kırıcıların yerleştirilmesi gibi binada pencere olan yüzeylerin ön kısımlarına rüzgâr etkisini azaltıcı dikey yâda yatay elemanlar koyulmaktadır. Hemant vd., 2019 üstten görünüşü kare olan yüksek bir binanın rüzgâra maruziyetini sayısal olarak gerçekleştirmişlerdir. Rüzgâr etkilerini iki farklı türbülans model kullanarak incelemişlerdir. Çalışma sonunda bina

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931858

üzerindeki hız konturlerinin değişimini incelemiştir. Jae vd., 2020 rüzgârın yıkıcı etkileri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışma sonunda rüzgârın tahrip ettiği yapıları ele almışlardır. Jinsoo vd., 2017 tek taraflı havalandırma sistemine sahip bir yapıda iç ve dış kısım arasında pozitif ve negatif sıcaklık farklarını ele almışlardır. Ayrıca yapının tek taraflı hava alan kısmında içeri giren rüzgârın dağılımını incelemiştir. Benzer bir çalışma Ali vd., 2019 tarafından gerçekleştirilmiştir. Bina üzerindeki hız profillerini farklı türbülans modelleri kullanarak incelemiştir. Gölbaşı vd., 2017, dört farklı bina modelleri etrafındaki akış alanlarını; ortalama hız ve türbülans hız profillerinin ölçülmesi Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm tekniği (PIV) yöntemi kullanarak deneysel olarak incelenmiştir. Gölbaşı vd., 2017, iki bina arasındaki akış özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada çatı katının etkilerini incelemiştir. Gölbaşı vd., 2017, bina yüksekliği değişiminin akış yapıları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bina modelleri olarak, 30° eğime sahip çatılı 5x5x5cm ve 5x10x5cm boyutlarındaki yapıları fluent 12.0 programı kullanarak incelemiştir. Gölbaşı vd. 2018, çalışmalarında 5x5x5cm boyutlarında çatılı ve çatısız iki bina modeli etrafındaki akış özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiş olup, çatılı bina arkasındaki girdapların uzunluklarının çatılı binaya göre %7,5 oranında arttığını belirlemiştir.

Binalarda rüzgâr etkilerinin yanı sıra yalıtım özellikleri de önem arz etmektedir. Erdem ve Volkan., 2017 Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin optimum ısı yalıtım kalınlığının Hesaplanması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Xiao vd., 2019 Çin'in Dali şehrindeki 42 katlı iki binanın hasar olasılığı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada rüzgârın geliş açılarının bina üzerindeki etkilerini ele almışlardır.

Hava perdeleri binalardaki rüzgâr etkilerini azaltıcı etkiye sahiptir. Dolayısıyla binanın enerji ekonomisi açısından olumlu sonuçlar sağlamaktadır. Senwen vd., 2019 binalardaki hava perdeleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmayı bir rüzgâr tüneli test bölgesi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca nümerik model oluşturularak sonuçları karşılaştırmışlardır. Bendine ve Alper., 2020 bir köprünün enerji tasarrufu bakımından sayısal modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Filmon vd., 2017 Binalardaki rüzgâr etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Andrew vd. 2020, binalardaki

rüzgâr ve deprem etkilerini incelemiştir. Leonidas ve Marialena., 2019 binaların yükseklik ve alan oranları ve rüzgâr konforu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Cheng vd., 2020 binalarda rüzgâr basınç katsayılarını incelemiştir. Timothy vd., 1998 rüzgâr-kuvvet dirençleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Li vd., 2019 şehirlerdeki binaların rüzgâr etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada amaç, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin dış duvarlarının rüzgâr ve sıcaklık etkileri bakımından incelenmesidir. Çalışma nümerik olarak 4 durum için gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla rüzgârın güneydoğu (ön kısım), kuzeybatı (arka kısım), kuzeydoğu (sağ kısım) ve güney batı (sol kısım)'dan esmesi durumunda bina üzerindeki rüzgâr ve akış özellikleri incelenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Çalışma hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarında sıklıkla kullanılan ANSYS CFX 18.2 yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası rüzgâr etkileri yönünden incelenmiştir. Bina modeli çizimi için binanın gerçek boyutları ele alınmıştır. Model üzerindeki farklı etkileri gözlemlemek için 4 farklı yön seçilmiştir. Sırasıyla rüzgârın güneydoğu (**durum 1**) (ön kısım), kuzeybatı (**durum 2**) (arka kısım), kuzeydoğu (**durum 3**) (sağ kısım) ve güney batı (**durum 4**) (sol kısım) yönlerinden estiği durumlar için modelleme yapılmıştır.

Her bir durum için giriş rüzgâr hızı 40 m/s ve giriş rüzgâr sıcaklığı 35 °C olarak verilmiştir. Rüzgâr yönlerinin tespit edilmesi için Google haritalar uygulaması yardımıyla binanın uydu görüntüleri alınmıştır. Dicle üniversitesi 37,92 derece enlem ve 40,27 derece boylamda yer almaktadır (haritamap.com). Bina deniz seviyesinden 688 metre yükseklikte olduğu için sınır şartları atmosfer basıncında alınmıştır. Şekil 1.a'da binanın uydu görüntüsü ve rüzgâr yönleri verilmiştir. Binanın tüm yüzeylerine 25 °C sıcaklık tanımlanmıştır. Modelin diğer tüm kısımlarına açık sınır şartı verilmiştir. Modelin eleman sayısı 125630 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu ağ; binanın belirli bir koordinatı üzerindeki basınç değeri alınarak elde edilen izafi yaklaşım değerleri için ağdan bağımsız optimum ağ sayısıdır. Optimum ağ sayısının elde edilmesi için sonuçlar tablo 1'de verilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.931858

Tablo 1. Ağ bağımsızlık testi sonuçları

	Ağ sayısı	P (bar)	Yaklaşım(%)
Durum 1	116480	94115,80	4,12
Durum 2	125630	98160,12	-
Durum 3	145280	94676,04	3,68

İzafi yaklaşım bir alt ağ sayısı 116480 eleman sayısı için %4,12 olarak elde edilmiştir. Bir üst ağ sayısı 145280 eleman sayısı için %3,68 olarak elde edilmiştir. Şekil 1.b’de modelin ağ yapısı görülmektedir. Çalışmada üçgen ağ yerine düzgün dörtgen ağ yapısı kullanılmıştır. Skewnes değeri 0,18 olarak elde edilmiştir. Aşağıda viskoz, sıkıştırılmayan ve newtonien bir akışkanın üç boyutlu akışı için en genel halleri verilmiştir. (Lauder., 1974, Menter., 1994)

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

x momentum denklemi:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

y momentum denklemi:

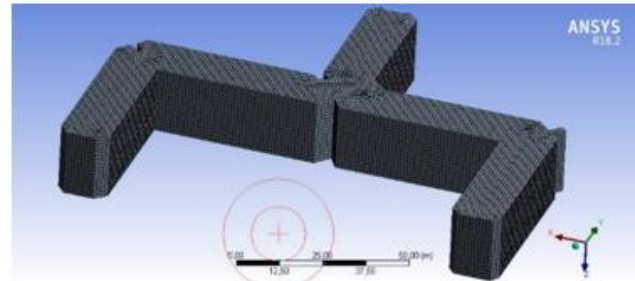
$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

z momentum denklemi:

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = F_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (4)$$



Şekil 1.a. Binanın uydu görüntüsü ve rüzgâr yönleri

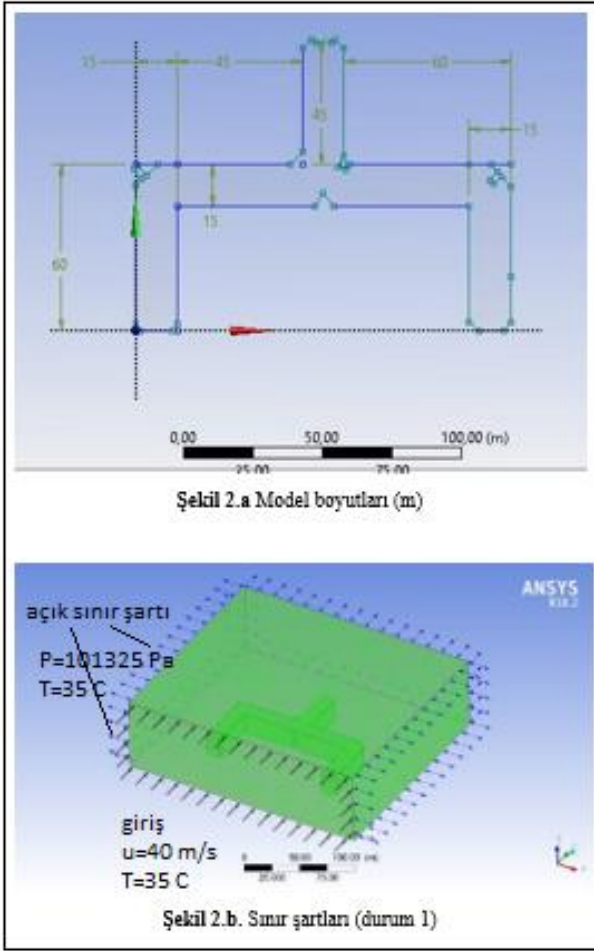


Şekil 1.b. Modelin ağ yapısı

Şekil 1. Binanın uydu görüntüsü, rüzgâr yönleri ve modelin ağ yapısı

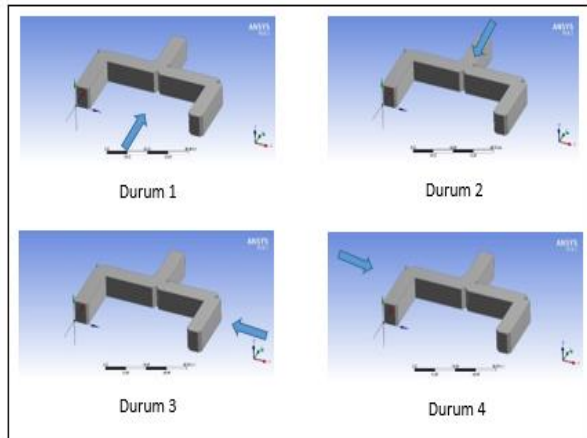
Şekil 2.a’da model boyutları verilmiştir. Buradaki boyutlar binanın gerçek boyutlarında alınmıştır. Mesh sayısının ve çözüm zamanının artmaması için akış etkilerinin bina etrafında gözlemlenebilir olduğu durum kadar hacim seçilmiştir.

Sınır şartları için örnek gösterim şekil 2.b’de durum 1 için verilmiştir. Sağ, sol, üst ve arka kenarlar açık sınır şartında seçilmiştir. Buralardaki basınç değeri 101325 Pa, sıcaklık değeri 35 °C olarak verilmiştir. İç akışlarda genellikle k-w ya da nadiren Shear stress transport model (sst) tercih edilebilmektedir. k-e model daha çok dış akışlarda sıklıkla kullanılan bir model olduğu için tercih edilmiştir.



Şekil 2. Model boyutları ve sınır şartları

Şekil 3'te sırasıyla 4 farklı durum için rüzgâr yönü gösterimleri verilmiştir.

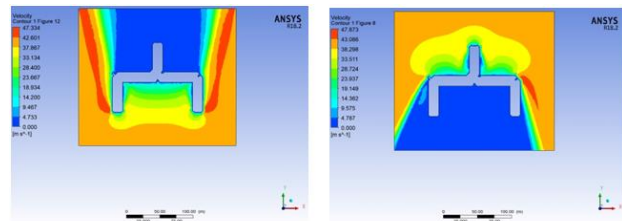


Şekil 3. Rüzgâr yönleri

### 3. Bulgular ve Tartışma

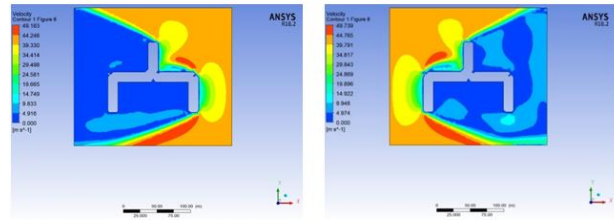
Şekil 4'a-d'de 4 farklı durum için hız konturları görülmektedir. Binanın ön kısmından rüzgâr estiğinde (durum 1); binanın sağ ve sol uçlarının maksimum rüzgâr hızına maruz kaldığı görülmektedir. Özellikle bu kısımlarda yüksek seyreden rüzgâr hızları sürtünmeden dolayı gürültü ve titreşimi arttıracaktır. Akış ayrılması ve tekrar birleşimi sonucunda titreşim artacaktır. Rüzgâr arkadan estiğinde (durum 2) sadece binanın sağ kısmında maksimum rüzgâr değerleri izlenmiştir. Rüzgârın sağ (durum 3) ve soldan (durum 4) esmesi durumunda birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir. İlk 2 durumda ortalama rüzgâr hızları 47 m/s değerlerinde iken durum 3 ve durum 4'te %4,25 artış göstererek 49 m/s değerlerine kadar ulaşmıştır.

Akım çizgileri üzerinden girdaplar daha net görülebilir. Dolayısıyla; bina üzerindeki rüzgâr etkilerini akım çizgilerinden daha rahat görebiliriz. 4 farklı durum için akım çizgileri şekil 5'a-d'de verilmiştir. Dikkat edilirse ilk durumda girdaplar binanın arka kısmında oluşmuştur. İkinci durumda yani akışın binanın arkasından gönderildiği durumda ise binanın ön kısmında girdap oluşmamıştır. Rüzgâr binanın sağ kısmından gönderildiğinde binanın ön sağ uç kısmından akış ayrılmasının başladığı ve büyük bir girdap oluşturduğu görülmektedir. Benzer şekilde binanın sol kısmından rüzgâr gönderildiğinde binanın ön sol uç kısmından akış ayrılmasının ve büyük birkaç girdabın oluştuğu görülmektedir. Bu kısımlar gürültü ve titreşime daha çok maruz kalabilirler.



Şekil 4.a. Hız konturları (Durum 1)

Şekil 4.b. Hız konturları (Durum 1)

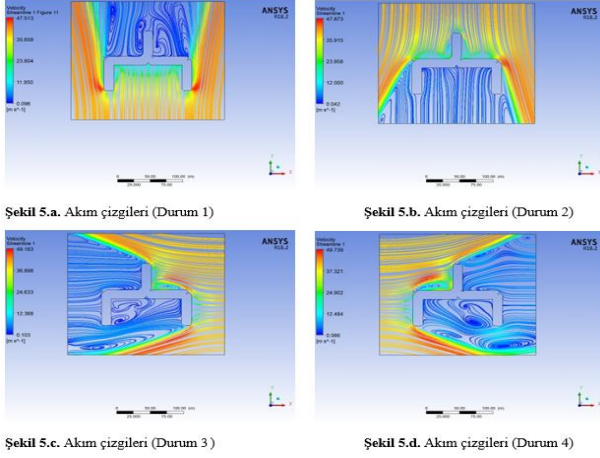


Şekil 4.c. Hız konturları (Durum 3)

Şekil 4.d. Hız konturları (Durum 4)

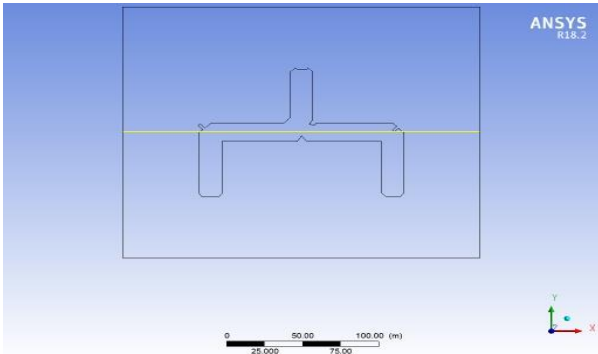
Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931858

#### Şekil4. Farklı yönler için hız konturları

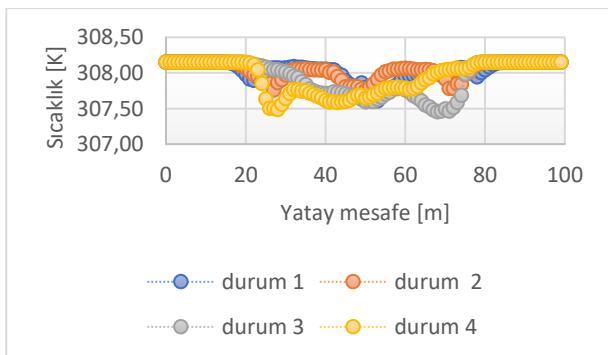


#### Şekil 5. Farklı yönler için akım çizgileri

Binadan 10 metre yükseklikte binanın tam merkezinde bir çizgi boyunca rüzgârın binaya çarptıktan sonraki sıcaklık ve hızındaki değişimler 4 durum için incelenmiştir. Şekil 6'da binanın merkezinden 10 metre yükseklikten seçilen bina orta hat bölümü görülmektedir.

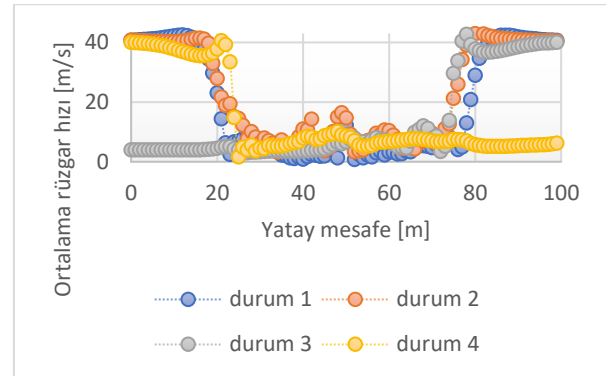


Şekil 6. Grafik için seçilen bina orta hat bölümü



Şekil 7. Seçilen çizgi boyunca rüzgârın sıcaklık değerleri

Şekil 7'de seçilen bina orta hat bölümü boyunca rüzgârın sıcaklık değerleri görülmektedir. Rüzgâr sıcaklığı giriş sınır şartı için  $35\text{ }^{\circ}\text{C} = 308.15\text{ K}$ , bina yüzey sıcaklığı  $25\text{ }^{\circ}\text{C} = 298.15\text{ K}$  olarak seçilmiştir. Grafik incelendiğinde; rüzgârın bina yüzeyine çarpması sonucu binanın orta bölgelerine doğru rüzgâr sıcaklığı yaklaşık 1 ila  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarı düşüş göstermiştir. Fakat rüzgâr sıcaklığı en fazla rüzgârın binanın sağ ve solundan esmesi durumunda gözlemlenmiştir. Bu durum yazın binanın soğutulması bakımından az da olsa bir avantajdır. Fakat rüzgârın artması aynı zamanda gürültü ve titreşimi de arttıracaktır. Binanın tam ortasındaki rüzgâr sıcaklıkları durum 1 için  $34,86\text{ K}$ , durum 2 için  $34,84\text{ K}$ , durum 3 ve durum 4 için  $34,64\text{ K}$  olarak elde edilmiştir. Binanın merkez noktasında durum 3 ve durum 4'teki rüzgâr sıcaklıkları durum 1 ve durum 2'ye göre %0,63 oranında azalmıştır.



Şekil 8. Seçilen çizgi boyunca ortalama rüzgâr hızı değerleri

Şekil 8'de seçilen çizgi boyunca ortalama rüzgâr hızı değerleri görülmektedir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri durum 2'de gözlemlenmiştir. Diğer 3 durumda birbirlerine benzer bir sonuç elde edilmiştir. Binanın orta bölgesindeki rüzgâr hızları yaklaşık 10 ila  $15\text{ m/s}$  aralığındadır. Binanın merkezinde durum 1 için rüzgâr hızı  $0,8\text{ m/s}$ , durum 2 için  $8,56\text{ m/s}$ , durum 3 için  $1,86\text{ m/s}$  durum 4 için  $9,04$  olarak elde edilmiştir. Bu bölgedeki rüzgâr hızı durum 1'e göre durum 2'de %90,65 oranında artmıştır. Binanın sese ve titreşime maruz kalan kısmının binanın orta bölgeleri olduğu görülmüştür. Durma noktasının etkileri bu bölgelerde maksimum seviyededir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931858

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binasının rüzgâra maruz kalması sonucu farklı rüzgâr yönlerinin bina üzerinde farklı etkilere sahip olduğu görülmüştür. Binanın orta hattı üzerinden alınan grafiklerde binanın rüzgâr sıcaklığının yaklaşık 1.5 °C civarı azaldığı gözlemlenmiştir. Binanın merkez noktasındaki rüzgâr hızlarının durum 1'e göre durum 2'de %90,65 oranında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde binanın merkez noktasında durum 3 ve durum 4'deki rüzgâr sıcaklıkları durum 1 ve durum 2'ye göre %0,63 oranında azalmıştır. Binaya sağ ve soldan rüzgâr gönderildiğinde diğer iki duruma göre bina etrafında daha büyük hava girdapları olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan hava girdapları binanın bu kısımlarında gürültü ve titreşime yol açabilmektedir. Bu durumu önlemek için binanın bu yüzeylerine çeşitli ebatlarda hava perdeleri koyulabilir.

#### 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

- Ali, K., Hua, G., Hoi, D. N., 2019. Effect of turbulence modeling schemes on wind-driven rain deposition on a mid-rise building: CFD modeling and validation, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 184, 362-377
- ANSYS, (Academic Teaching Introductory) command References and gui.
- Andrew, W. L., Wensu, C., Hong, H., Kaiming, B., 2020. Effect of inter-module connection stiffness on structural response of a modular steel building subjected to wind and earthquake load, *Engineering Structures*, 213, 110628
- Bendine, K. , Alper, P., 2020. Numerical Modelling of Piezoelectric Based Energy Harvesting from The Bridge Structure, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2):130-139
- Cheng, Z., Senwen, Y., Chang, S., Liangzhu, W., Ted, S., 2020. Wind pressure coefficients for buildings with air curtains, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 205, 104265
- Erdem, I., Volkan, T., 2017. Tunceli, Hakkâri ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının

Hesaplanması, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2): 50-57

- Filmon, H., Arindam, G. C., Loannis, Z., 2017. Effect of wind-induced internal pressure on local frame forces of low-rise buildings, *Engineering Structures*, 143, 455-468
- Gölbaşı D., Buyruk E., Şahin B., Karabulut K. 2017., Değişik Bina Modelleri İçin Akış Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 162, 32-47
- Gölbaşı D., Buyruk E., Şahin B., 2017 Karabulut K., Alnak D.E. "Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Rooftop on the Flow Characteristic Between Two Buildings, 8th International Advanced Technologies, Symposium, Elazığ/Turkey, 8, 1605-1612
- Gölbaşı D., Buyruk E., Şahin B. Karabulut K., Kılınç F. 2017., Bina Yüksekliği Değişiminin Akış Yapıları Üzerindeki Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, *ULİBTK17-21, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Çorum/Türkiye*, 356-366
- Gölbaşı D., Buyruk E., Karabulut K. 2018. Experimental and Numerical Research of the Flow Features Around the Building Pairs with Different Types, *Cumhuriyet Science Journal*, 39 (4), 1089-1106,
- URL1 <https://www.haritamap.com/yer/dicle-universitesi-sur>
- Hemant, M., Ashutosh, S., Ajay G., 2019. Numerical simulation of pedestrian level wind flow around buildings: Effect of corner modification and orientation, *Journal of Building Engineering*, 22, 314-326
- Jae, H. K., Mohammadtaghi, M., Elaina, J. S., Arindam C., Thang, N. D., 2020. Observations and analysis of wind pressures on the floor underside of elevated buildings, *Engineering Structures*, 221, 11101
- Jinsoo P., Xiang S., Jung, C., Gwang, H. R., 2017. Effect of wind and buoyancy interaction on single-sided ventilation in a building, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 171, 380-389
- Launder B.E. and Spalding D.B., 1974. The numerical computation of turbulent flows, *Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering*, 3, 269 – 289
- Leonidas, T., Marialena, N., 2019. The effect of building height and façade area ratio on pedestrian wind comfort of London, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 191, 63-75
- Li B., Jiang, C., Wang, L., Cai, W., Liu, J. 2019. A parametric study of the effect of building layout on wind flow over an urban area, *Building and Environment*, 160, 106-160

*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI: 10.29132/ijpas.931858

- Menter F. R., 1994. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, *AIAA Journal*, 32, 1598–1605.
- Senwen, Y., Hatem, A., Cheng, Z., Dahai, Q., Liangzhu, W., Ted, S. 2019. Wind effects on air curtain performance at building entrances, *Building and Environment*, 151, 75-87
- Timothy, W., Emil S., Gilliam, H., Jason, L., David, S. 1998. The use of aerodynamic databases for the effective estimation of wind effects in main wind-force resisting systems: application to low buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 77-78, 685-693
- Xiao-Wei, Z., Hong-Nan, L., Chao, L., 2019. Damage probability analysis of a high-rise building against wind excitation with recorded field data and direction effect, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 184, 10-22

## Third-Party Logistics (3PL) Provider Selection Using Hybrid Model of SWARA and WASPAS

Muhammet Enes Akpınar

Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Manisa, Turkey  
enes.akpinar@cbu.edu.tr

Received date:18.07.2021, Accepted date:12.09.2021

### Abstract

Increasing competition as a result of globalization forces companies to focus on the core activities they are specialized in and to use outsourcing in areas other than these core activities. Companies seek to outsource their logistics functions partially or completely since this is not in their main field of activity. Thus, companies are faced with the problem of choosing a Third Party Logistics (3PL) service provider that can contribute to their sustainable development and perfectly perform the logistics activities. In this study, the 3PL selection problem of a cable manufacturing company is discussed. The study aims to solve the business problem and to show the applicability of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods in the most appropriate 3PL selection problems. The 3PL selection was made in line with the criteria and alternatives determined by a team of decision-makers working in the relevant department of the company. First of all, the weight value of each criterion was determined by using the SWARA method based on the MCDM method. This method was chosen because it takes group decisions into account and is easy to implement. Afterward, calculations were made according to the criteria levels of each alternative service provider with the WASPAS method. In the study, 12 criteria were determined by the decision-makers. Besides, 5 different 3PL companies were taken into account. According to the results of the study, it was the third 3PL that met the criteria at the most appropriate level.

**Keywords:** Third-party logistics, multi-criteria decision making, SWARA method, WASPAS method

## SWARA ve WASPAS Hibrit Yöntemlerini Kullanarak Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Sağlayıcısı Seçimi

### Öz

Küreselleşmenin bir sonucu olarak artan rekabet, işletmeleri uzman oldukları temel faaliyetlere odaklanmaya ve bu ana faaliyetler dışında dış kaynak kullanmaya zorlamaktadır. İşletmeler, ana faaliyet alanlarında bu olmadığı için lojistik fonksiyonlarını kısmen veya tamamen dış kaynak üzerinden yürütmek istemektedirler. Bu istekten dolayı işletmeler, sürdürülebilir gelişimlerine katkıda bulunabilecek ve lojistik faaliyetlerini kusursuz bir şekilde gerçekleştirebilecek bir Üçüncü Taraf Lojistik (3PL) hizmet sağlayıcı seçme sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu çalışmada bir kablo üreticisi firmanın 3PL seçim problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, işletme problemini çözmek ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin en uygun 3PL seçim problemlerinde uygulanabilirliğini göstermektir. 3PL seçimi, işletmenin ilgili bölümünde görev yapan karar vericilerden oluşan bir ekip tarafından belirlenen kriterler ve alternatifler doğrultusunda yapılmıştır. Öncelikle ÇKKV yöntemine dayalı SWARA yöntemi kullanılarak her bir kriterin ağırlık değeri belirlenmiştir. Bu yöntem, grup kararlarını dikkate aldığı ve uygulanması kolay olduğu için seçilmiştir. Daha sonra WASPAS yöntemi ile her bir alternatif hizmet sağlayıcının kriter seviyelerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada karar vericiler tarafından 12 kriter belirlenmiştir. Ayrıca 5 farklı 3PL firması dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre kriterleri en uygun düzeyde karşılayan alternatifin üçüncü hizmet sağlayıcısı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Üçüncü parti lojistik, çok kriterli karar verme, SWARA yöntemi, WASPAS yöntemi

### INTRODUCTION

Logistics is the undamaged delivery of needed resources such as products, services, and people, at the right time, at the right place, in the right quantity,

at the right cost, and with the highest flexibility. In other words, logistics is the effective and efficient planning and implementation of the movement of all kinds of products, services (Miah et al. 2014).



The transportation of the desired product or service to the desired place, at the desired time, at the most affordable price, and in the most effective way has led to the development of the concept of logistics. An increase is observed in transportation activities with minimizing the amount of stock, specializing in the field, and the ease of monitoring and tracking brought about by technological developments. Increasing competition environment and developing information technologies have increased the importance of transportation systems. For this reason, criteria such as quality, price, time, and environment are taken into account when receiving transportation services. A successful migration should have the following characteristics (Schniederjans et al. 2006):

- The product must have gone to the desired place at the desired time.
- The product must be delivered undamaged.
- Service quality should satisfy the customer.
- The transportation cost should be in the amount that the customer can accept.
- Damage to the environment should be minimal.

With outsourcing in the logistics sector, companies have the chance to focus on their core competencies, which is the primary factor of competitive advantage, by transferring their logistics functions to external resources specialized in their fields with technology, technical expertise, and advanced information systems. This reduces the time and investment the company spends on complex logistics activities and enables the transfer of fixed investments, material purchase and/or follow-up, necessary information technology costs, and expertise for these activities to an external provider. Thus, companies can concentrate on their main fields of activity and maintain their competitive advantages. Objectives of outsourcing are as follows (Chima, 2011):

- Reducing logistics investment and operation costs.
- Transferring the risks that may occur during activities such as transportation, handling, and stocking to the service provider.
- Being able to concentrate on main activities such as production and marketing.

- To provide a logistical advantage by accelerating material and product flow.
- To increase customer satisfaction with a good logistics performance at the points where the customer is encountered.
- Saving on costly investments such as transportation vehicles, handling equipment, stock area.
- To benefit from the capacity of the service providers that they can use from other companies.
- Reducing stock costs with logistics planning, fast and successful operation.
- Labor savings.
- To provide the company's access to worldwide technological solutions and opportunities.

This study makes a significant addition to the industry's understanding of 3PL selection strategies. It may assist field experts and top management in preparing a flexible short/long-term solution that will aid in the implementation of the 3PL selection phase. It is critical to use a structured approach to calculate the weights for criteria and then use these weights to select the best 3PL. The weight has been determined using the SWARA technique, which allows decision makers to set their own priorities and uses objective opinions rather than a mandatory scale in the ranking of the criteria. The WASPAS method was also utilized to analyze the alternatives, which is based on a mixture of the Weighted Product Model and the Weighted Total Model, with the goal of preserving information loss during the review phase of the alternatives.

The rest of the study is structured as follows: The studies considering the 3PL selection problems are provided in literature review section. Logistic service providers are explained later. After, third part logistics definition is detailed. The methodologies used in the study are explained later. Application of the methodologies in the 3PL selection is provided. Finally, the results and the future research directions are shared.

## LITERATURE REVIEW

In the study, the 3PL selection was made for a cable manufacturer company. For this selection, SWARA and WASPAS methods, which are Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, were used. Among these methods, the SWARA method has

been previously reported in the literature for evaluation of investment alternatives for the sustainability of energy systems (Hashemkhani et al. 2013), product design (Hashemkhani et al. 2013), location selection (Zolfani et al. 2020), thermal insulation selection (Ruzgys et al. 2014), investment selection (Hashemkhani and Bahrami 2014), personnel selection, light source selection (Nakhaei et al. 2016), packaging design (Stanujkic et al. 2015), material selection (Yazdani et al. 2016), ERP software selection (Shukla et al. 2016), evaluation of enterprises according to their corporate social responsibilities (Karabasevic et al. 2016) and risk assessment (Valipour et al. 2017) can be given as an example.

The WASPAS method has been previously reported in the literature for telecommunications (Malekpoor et al. 2018; Yin et al. 2017), contractor selection (Stanujkic et al. 2015), construction site selection (Ruzgys et al. 2014; Stojić et al. 2018), supplier selection (Keshavarz et al. 2017; Stojić et al. 2018), logistics (Keshavarz et al. 2017), garage location selection (Baušys and Juodagalvienė 2017), strategy evaluation (Mirzaee et al. 2020), manufacturing decision-making (Chakraborty and Zavadskas 2014; Jahan 2018), personnel selection (Karabasevic et al. 2016) and so on. Also, a systematic and comprehensive review of the application of the WASPAS method is given by Mardani et al. (2017).

Different MCDM techniques are proposed for 3PL selection problems in literature. For example, analytical network process (Liou and Chuang 2010; Raut et al. 2018; Vazifehdan and Darestani 2019), Analytical Hierarchy Process (AHP) (Hou and Su 2006; Senthil, Srirangacharyulu, and Ramesh 2014), VIKOR (Liou and Chuang 2010), data envelopment analysis (Davoudabadi, Mousavi, and Sharifi 2020; Deng et al. 2020; Rashidi and Cullinane 2019; Raut et al. 2018), TOPSIS (Igoulalene, Benyoucef, and Tiwari 2015; Kannan, Pokharel, and Kumar 2009; Rashidi and Cullinane 2019; Senthil et al. 2014), fuzzy SWARA and fuzzy COPRAS (Zarbakshshnia, Soleimani, and Ghaderi 2018), fuzzy AHP (Yadav, Garg, and Luthra 2020), fuzzy VIKOR (Wang et al. 2021), fuzzy TOPSIS (Singh, Gunasekaran, and Kumar 2018), fuzzy-rough approach (Roy, Pamučar, and Kar 2020), Z-MABAC method (Fan, Guan, and Wu 2020), intuitionistic and hesitant fuzzy set (Liu et al. 2020), choquet integral (Qian et al. 2021) and

mathematical programming (Alnahhal, Tabash, and Ahrens 2021). For more studies about 3PL selection problems, Minashkina and Haponen (2020) is provided in the literature.

Following a review of the literature, there is no study in which only SWARA and WASPAS methods are used together. Although there is a study in which these methods are considered with rough set theory, there is no study in the literature in which net values are used. Besides, many of the studies given in the literature have been applied in different industries (such as the automobile and airline industry). Therefore, the use of integrated SWARA and WASPAS methods together in the literature and their use in a different sector by considering case study, show that the study is important in terms of its contribution to the literature. Moreover, the developed integrated model can help decision-makers gain a better understanding of the entire 3PL assessment and selection processes.

## LOGISTICS SERVICE PROVIDERS

Logistics service providers are companies that undertake the organization of all or most of the logistics services of a company, select logistics service providers within this framework, evaluate their performance, and provide coordination between them (Govindan et al. 2015).

The steps taken to gain a competitive advantage have significantly increased the share of logistics costs in total costs. For this reason, businesses have turned to outsource to reduce their logistics costs. These third-party activities may cover all activities in the processes, as well as often selected specific activities. To better understand the concept of "the third party" in the definition, if we need to explain the concepts of first and second parties (Coyle et al. 2012);

*First Party:* Supplier business.

*Second Party:* Business that is a direct customer of the first party.

*Third-Party:* Logistics intermediaries; freight forwarder service provider (companies that transport goods from one point to another, using a road, rail, airway or a combination of them, carrying out operations such as storage, customs clearance, packaging, distribution of cargo, and organizing these), carrier, warehouse (Under secretariat of

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972885

Customs). They are warehouse operators, which are operated under a customs administration in line with the permission given by the Ministry of Health, whose owner is obliged to be a legal entity or institution, where only non-nationalized imported goods and goods for export can be placed.

*Fourth Party:* Freedom of existence and its basic function; It is said to be the management of own and third parties' resources, capabilities, and technologies to provide a comprehensive supply chain solution.

**THIRD-PARTY LOGISTICS (3PL)**

For outsourcing in logistics, all logistics services don't need to be performed by a company. The important thing is that at least three services that touch each other (consecutive) are fulfilled or controlled by the same organization in such a way as to achieve an optimization. The organization that provides or controls this service is referred to as the 3PL organization. 1st party is the producer, 2nd party is the consumer, and 3rd party logistics is the organization that manages the service between these two points (Willcocks 2010).

The realization and management of logistics services within the company can be so efficient that another company cannot provide them at a lower cost. Logistics services that satisfy the customer and provide a competitive advantage must be realized, directed, and developed within the company. Companies that will receive outsourcing logistics services must first analyze their structures very well, make a situation plan, determine their goals, determine how much of them they can do and what will be demanded from the outside (Wisner et al. 2015).

**SWARA METHOD**

Kersuliene published the first paper on the Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) methodology. The factors that should be employed in the evaluation of alternatives are evaluated using this procedure, starting with the most important weight ratio and decreasing in importance. The experts in the field then vote on each criterion, and the insignificant ones are eliminated (Keršulienė et al. 2010).

**Step 1:** Each decision-maker ranks the model's criteria in order of importance, from most important to least essential, based on their expertise. The most important criterion is given a score of 1 by the expert,

and then the decision-making expert re-evaluates this evaluation between 0 and 1 in multiples of 0.05.

$$p_j^k; j = 1, \dots, k = 1, \dots, l; 0 \leq p_j^k \leq 1 \tag{1}$$

**Step 2:** The relative mean importance score is calculated for all criteria. When the number of decision-makers is shown as  $l$ , the average of the relative importance scores assigned to the criteria by the decision-makers is determined with the help of Equation (2).

$$S_j = \frac{\sum_{k=1}^l p_j^k}{l}; j = 1, \dots, n \tag{2}$$

**Step 3:** All criteria are ranked according to their relative average importance scores. As a result of the comparison, the comparative significance level of the average values of the criteria is calculated. The values are obtained by paired comparison by determining the significance ratio according to the  $j+1$  criterion.

**Step 4:** The coefficient value  $C_j$  for all criteria is obtained by using Equation (3) below. The coefficient of the criterion with the largest  $S_j$  value is  $= 1$ ; It is determined as  $= 1, \dots, n$ .

$$C_j = S_j + 1; j = 1, \dots, n \tag{3}$$

**Step 5:**  $S_j'$  value must be calculated for all criteria using Equation (4). The relative weight of the first-ranked criterion is accepted as  $S_j' = 1$  and the ranking made according to  $S_j$  is taken into account when calculating  $S_j'$ .

$$S_j' = \frac{S_{j_{j-1}}}{c_j}; S_{j-1} > S_j \tag{4}$$

**Step 6:** The final weights for all criteria are calculated using Equation (5). With this calculation, the values of  $S_j'$  are normalized and weights are obtained by  $w_j$ ;  $j = 1, \dots, n$ . Finally, the weights are listed.

$$W_j = \frac{S_j'}{\sum_{j=1}^n S_j'}; j = 1, \dots, n \tag{5}$$

**WASPAS METHOD**

The WASPAS method determines the most appropriate choice in the multi-criteria data set by integrating the Weighted Sum Model (WSM) and Weighted Product Model (WPM) models, which are basic multi-criteria decision-making models, with a coefficient. The WASPAS method is used to evaluate and rank the alternatives. It was developed by Zavadskas in 2012. The WASPAS method aims at high accuracy in the estimation by optimizing the weighted aggregate function (Zavadskas et al. 2012).

In the problem handled with the method,  $m$  alternatives  $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$  and  $n$  criteria are specified as  $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$ .

**Step 7:** Creating the decision matrix (X) that shows us the performance of the alternatives in the problem based on the criteria in the problem.

$$X = [X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

**Step 8:** The decision matrix is normalized ( $\bar{x}_{ij}$ ). Equation (7) is used if the evaluation criteria are in the maximization class or Equation (8) if they are in the minimization situation.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

**Step 9:** The total relative importance of the  $i^{th}$  alternative is calculated separately according to the WSM and the WPM. The total relative importance of an alternative relative to the Weighted Sum ( $Q_i^{(1)}$ ) and the total relative importance of an alternative to the Weighted Product ( $Q_i^{(2)}$ ) is calculated using Equation (9) and Equation (10), respectively.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad (9)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^{w_j} \quad (10)$$

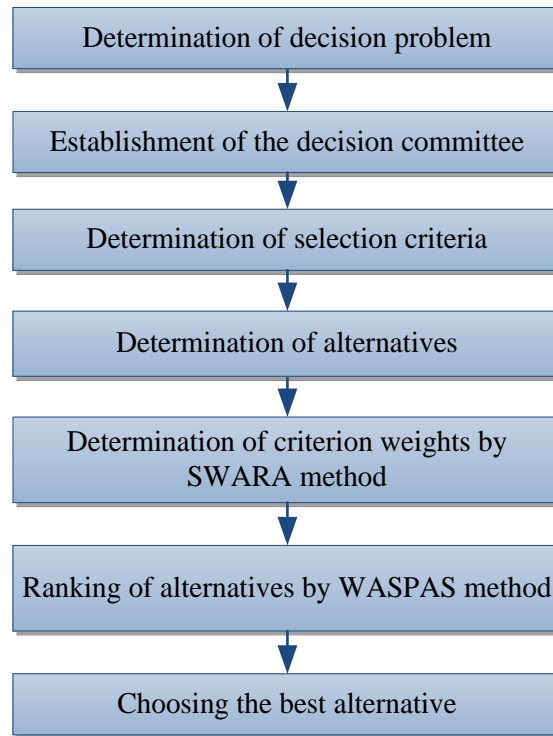
**Step 10:** The total relative importance of the alternatives are combined into a single formula and indicated by Equation (11).

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n (X_{ij}) w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (X_{ij})^{w_j} \quad (11)$$

where  $Q_i$  is  $i^{th}$  represents the overall relative importance score of the alternative according to the WASPAS method,  $\lambda$  is a parameter used in the WASPAS method that can take values between 0 and 1. WASPAS method turns into the WPM method if we take the value of  $\lambda=0$ . When  $\lambda=1$ , it turns into the WSM method. Here, the choice of  $\lambda$  value depends on the decision-maker. Regarding how much  $\lambda$  should be, Zavadskas (2012) recommends calculating the optimum  $\lambda$  value.  $Q_i$  values are based on the ranking of the alternatives according to the WASPAS method. Among the alternatives, the alternative with the highest  $Q_i$  value is the best alternative.

**3PL SELECTION USING SWARA AND WASPAS**

The manufacturing company discussed in the study produces cable assemblies, sheet metal parts, tubular manufacturing, and molds. The fact that there is a lot of production diversity in the production area and delivery to different customers in the city and outside the city causes business complexity in the logistics processes. The company outsources its logistics processes. The size of the company's production volume, product variety, and the fact that it has a large number of employees limit specialization in every field. Therefore, it is very important to select and evaluate the 3PL and examine its effects on costs in order not to lose control over business activities, not to increase costs, not to cause customer dissatisfaction, and not to take the risks of processes such as transportation and storage completely. The flowchart of the problem is provided in Figure 1.



**Figure 1.** The flowchart of the 3PL selection procedure

Within the scope of the study, 3PL service provider selection criteria in terms of outsourcing and in terms of the production site of the company were determined by a joint decision made by a five-person committee formed by the supply chain department and production supervisors. The criteria set by these persons (Decision Makers (DM)); Price ( $K_1$ ), Speed ( $K_2$ ), Service diversity ( $K_3$ ), Flexibility ( $K_4$ ), Environmental sensitivity ( $K_5$ ), Reliability ( $K_6$ ), Information and communication technologies ( $K_7$ ), Logistics equipment ( $K_8$ ), Financial strength ( $K_9$ ), Closeness to the facility ( $K_{10}$ ), Logistics experience ( $K_{11}$ ) and Reputation in the market ( $K_{12}$ ).

Since the decision-makers evaluated the criteria, a new ranking was created by using the geometric mean of the criteria ordered in descending order (see Table 1). Afterward, the relative importance levels of the criteria were determined according to each DM (see Table 2 - Table 3). For this, taking the second criterion as the starting point, each criterion is compared with the previous criterion and the comparative importance of the criteria ( $s_j$ ) is determined. Then,  $k_j$ ,  $q_j$ , and  $w_j$  weight values were calculated for each decision-maker. The final criteria weights are given in Table 4.

**Table 1.** Determining the importance levels of the criteria based on decision-makers

Criteria	$DM_1$	$DM_2$	$DM_3$	$DM_4$	$DM_5$	Mean	Ranking
$K_1$	3	1	4	6	3	2,93	1
$K_2$	4	7	9	5	5	5,75	6
$K_3$	6	3	1	8	4	3,57	3
$K_4$	11	8	10	1	11	6,27	9
$K_5$	2	4	12	11	6	5,76	7
$K_6$	12	6	11	2	9	6,77	10
$K_7$	9	2	3	10	12	5,79	8
$K_8$	10	11	7	3	2	5,41	4

<b>K<sub>9</sub></b>	1	5	2	4	7	3,09	2
<b>K<sub>10</sub></b>	7	12	8	7	8	8,22	12
<b>K<sub>11</sub></b>	8	9	6	12	1	5,53	5
<b>K<sub>12</sub></b>	5	10	5	9	10	7,42	11

**Table 2.** Weights of criteria according to DM<sub>1</sub> and DM<sub>2</sub>

Ranking	Criteria	DM <sub>1</sub>				DM <sub>2</sub>			
		<i>s<sub>j</sub></i>	<i>k<sub>j</sub></i>	<i>w<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>s<sub>j</sub></i>	<i>k<sub>j</sub></i>	<i>w<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>
1	K <sub>1</sub>		1	1	0,212		1	1	0,212
2	K <sub>9</sub>	0.3	1,3	0,769	0,163	0.3	1,3	0,769	0,163
3	K <sub>3</sub>	0.2	1,2	0,641	0,136	0.2	1,2	0,641	0,136
4	K <sub>8</sub>	0.3	1,3	0,493	0,104	0.3	1,3	0,493	0,104
5	K <sub>11</sub>	0.2	1,2	0,411	0,087	0.2	1,2	0,411	0,087
6	K <sub>2</sub>	0.1	1,1	0,374	0,079	0.1	1,1	0,374	0,079
7	K <sub>5</sub>	0.2	1,2	0,311	0,066	0.2	1,2	0,311	0,066
8	K <sub>7</sub>	0.1	1,1	0,283	0,060	0.1	1,1	0,283	0,060
9	K <sub>4</sub>	0.4	1,4	0,202	0,042	0.4	1,4	0,202	0,042
10	K <sub>6</sub>	0.7	1,7	0,119	0,025	0.7	1,7	0,119	0,025
11	K <sub>12</sub>	0.6	1,6	0,074	0,015	0.6	1,6	0,074	0,015
12	K <sub>10</sub>	0.5	1,5	0,049	0,010	0.5	1,5	0,049	0,010

As seen in Table 4, the most important criterion was seen as Price (K<sub>1</sub>) with a value of 0.266. The second most important criterion is the Speed (K<sub>2</sub>) criterion with a value of 0.199. Significance levels for each criterion can be seen using Table 4. The determination of the criterion weights was done with the SWARA method. In the next stage, using these weights, the most suitable one among the alternative 3PL companies was selected with the help of the WASPAS method. For this selection process, the decision-makers determined five different 3PL alternatives. The values of the alternatives were obtained by the decision-makers giving the alternatives values between 1 and 5 (1 = Worst, 5 = Best). In this way, decision matrices that show the success status under the criteria of each alternative were created.

The results of the evaluations were determined by using the arithmetic mean of the scores given by the five decision-makers and are given in Table 5. Then, the obtained decision matrix was normalized based on maximization and minimization type criteria and the values are given in Table 6. According to the WSM, the total relative importance of an alternative is calculated as the weighted sum of the criteria values. The total relative importance (Q<sub>i</sub><sup>(1)</sup>) of the alternatives were calculated according to the WSM. According to the WPM, it is calculated as the product of the power of the performance value of an alternative based on the criterion, equal to the criterion weight. According to the WPM, the total relative importance of the alternatives (Q<sub>i</sub><sup>(2)</sup>) was calculate

**Table 3.** Weights of criteria according to DM<sub>3</sub>, DM<sub>4</sub>, and DM<sub>5</sub>

Ranking	Criteria	DM <sub>3</sub>				DM <sub>4</sub>				DM <sub>5</sub>			
		<i>s<sub>j</sub></i>	<i>k<sub>j</sub></i>	<i>w<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>s<sub>j</sub></i>	<i>k<sub>j</sub></i>	<i>w<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>s<sub>j</sub></i>	<i>k<sub>j</sub></i>	<i>w<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>
1	K <sub>1</sub>		1	1	0,284		1	1	0,270		1	1	0,255
2	K <sub>9</sub>	0.3	1,3	0,769	0,219	0.5	1,5	0,667	0,180	0.2	1,2	0,833	0,213
3	K <sub>3</sub>	0.4	1,4	0,549	0,156	0.5	1,5	0,445	0,120	0.4	1,4	0,596	0,152
4	K <sub>8</sub>	0.6	1,6	0,343	0,097	0.2	1,2	0,370	0,100	0.5	1,5	0,397	0,101
5	K <sub>11</sub>	0.5	1,5	0,229	0,065	0.3	1,3	0,285	0,077	0.2	1,2	0,331	0,084

6	K <sub>2</sub>	0.3	1.3	0,176	0,050	0.2	1.2	0,237	0,064	0.3	1.3	0,254	0,065
7	K <sub>5</sub>	0.4	1.4	0,126	0,036	0.4	1.4	0,170	0,046	0.7	1.7	0,150	0,038
8	K <sub>7</sub>	0.2	1.2	0,104	0,030	0.5	1.5	0,113	0,030	0.4	1.4	0,107	0,027
9	K <sub>4</sub>	0.4	1.4	0,075	0,021	0.6	1.6	0,071	0,019	0.1	1.1	0,097	0,025
10	K <sub>6</sub>	0.1	1.1	0,068	0,019	0.5	1.5	0,047	0,013	0.4	1.4	0,069	0,018
11	K <sub>12</sub>	0.5	1.5	0,045	0,013	0.8	1.8	0,026	0,007	0.3	1.3	0,053	0,014
12	K <sub>10</sub>	0.3	1.3	0,035	0,010	0.3	1.3	0,020	0,005	0.6	1.6	0,033	0,008

**Table 4.** Final criterion weights

Criteria	DM <sub>1</sub>	DM <sub>2</sub>	DM <sub>3</sub>	DM <sub>4</sub>	DM <sub>5</sub>	Criteria Weights
K <sub>1</sub>	0,212	0,305	0,284	0,270	0,255	0,266
K <sub>2</sub>	0,163	0,218	0,219	0,180	0,213	0,199
K <sub>3</sub>	0,136	0,145	0,156	0,120	0,152	0,143
K <sub>4</sub>	0,104	0,112	0,097	0,100	0,101	0,104
K <sub>5</sub>	0,087	0,070	0,065	0,077	0,084	0,078
K <sub>6</sub>	0,079	0,059	0,050	0,064	0,065	0,064
K <sub>7</sub>	0,066	0,036	0,036	0,046	0,038	0,046
K <sub>8</sub>	0,060	0,022	0,030	0,030	0,027	0,035
K <sub>9</sub>	0,042	0,012	0,021	0,019	0,025	0,026
K <sub>10</sub>	0,025	0,008	0,019	0,013	0,018	0,018
K <sub>11</sub>	0,015	0,006	0,013	0,007	0,014	0,013
K <sub>12</sub>	0,010	0,004	0,010	0,005	0,008	0,008

The total importance ( $Q_i$ ) of the alternatives calculated according to the WSM and WPM methods can be generalized with the integration formula. The  $\lambda$  value used below is a parameter used in the WASPAS method and takes a value between 0 and 1. When  $\lambda=0$  and  $\lambda=1$ , the WASPAS method turns into WSM and WPM methods,

respectively. As can be seen in Table 7, changing the  $\lambda$  value does not change the order of 3PL-3>3PL-5>3PL-4>3PL-1>3PL-2. Therefore, the selection of  $\lambda$  value does not affect the result, and the study is completed by choosing  $\lambda=0.4$ . In other words, it has been found that the most suitable 3PL supplier for the enterprise is 3PL-3.

**Table 5.** Decision matrix obtained by the evaluation of decision makers

Criteria	Criteria Class	Criteria Weights	3PL-1	3PL-2	3PL-3	3PL-4	3PL-5
K <sub>1</sub>	Min	0,266	3,8	3,4	4,2	3,4	3,6
K <sub>2</sub>	Max	0,199	3,2	4	2,6	2,8	3,4
K <sub>3</sub>	Max	0,143	3	2,8	3,6	4	3,8
K <sub>4</sub>	Max	0,104	2,6	3,2	3,6	3,8	3,2
K <sub>5</sub>	Max	0,078	3,8	3,4	3,8	3,4	4
K <sub>6</sub>	Max	0,064	2,8	3	2,6	3,2	3
K <sub>7</sub>	Max	0,046	2,2	3,2	4	3,6	3,8
K <sub>8</sub>	Max	0,035	3,6	3,6	2,8	4	3,2
K <sub>9</sub>	Max	0,026	3,2	3	3,4	3,8	3,4
K <sub>10</sub>	Max	0,018	4,2	3,6	3,6	3	3,2
K <sub>11</sub>	Max	0,013	3,8	3,4	4,2	4,4	3,4
K <sub>12</sub>	Max	0,008	3,6	3,2	3,6	3	4

**Table 6.** Decision matrix after normalization process

Criteria	3PL-1	3PL-2	3PL-3	3PL-4	3PL-5	W <sub>j</sub>
K <sub>1</sub>	0,90	0,81	1	0,81	0,86	4,2
K <sub>2</sub>	0,80	1	0,65	0,70	0,85	4
K <sub>3</sub>	0,75	0,70	0,90	1	0,95	4

<b>K<sub>4</sub></b>	0,68	0,84	0,95	1	0,84	3,8
<b>K<sub>5</sub></b>	0,95	0,85	0,95	0,85	1	4
<b>K<sub>6</sub></b>	0,88	0,94	0,81	1	0,94	3,2
<b>K<sub>7</sub></b>	0,55	0,80	1	0,90	0,95	4
<b>K<sub>8</sub></b>	0,90	0,90	0,70	1	0,80	4
<b>K<sub>9</sub></b>	0,94	1	0,88	0,79	0,88	3
<b>K<sub>10</sub></b>	1	0,86	0,86	0,71	0,76	4,2
<b>K<sub>11</sub></b>	0,86	0,77	0,96	1	0,77	4,4
<b>K<sub>12</sub></b>	0,90	0,80	0,90	0,75	1	4

**Table 7.** Relative and total significance of alternatives

<i>Q values</i>	<i>λ values</i>	<b>3PL-1</b>	<b>3PL-2</b>	<b>3PL-3</b>	<b>3PL-4</b>	<b>3PL-5</b>
<i>Q<sub>i</sub><sup>(1)</sup></i>		0,849	0,843	0,884	0,860	0,861
<i>Q<sub>i</sub><sup>(2)</sup></i>		0,858	0,852	0,890	0,869	0,874
<i>Q<sub>0,1</sub></i>	0,1	0,8571	0,8511	0,8894	0,8681	0,8727
<i>Q<sub>0,2</sub></i>	0,2	0,8562	0,8502	0,8888	0,8672	0,8714
<i>Q<sub>0,3</sub></i>	0,3	0,8553	0,8493	0,8882	0,8663	0,8701
<i>Q<sub>0,4</sub></i>	<b>0,4</b>	<b>0,8544</b>	<b>0,8484</b>	<b>0,8876</b>	<b>0,8654</b>	<b>0,8688</b>
<i>Q<sub>0,5</sub></i>	0,5	0,8535	0,8475	0,887	0,8645	0,8675
<i>Q<sub>0,6</sub></i>	0,6	0,8526	0,8466	0,8864	0,8636	0,8662
<i>Q<sub>0,7</sub></i>	0,7	0,8517	0,8457	0,8858	0,8627	0,8649
<i>Q<sub>0,8</sub></i>	0,8	0,8508	0,8448	0,8852	0,8618	0,8636
<i>Q<sub>0,9</sub></i>	0,9	0,8499	0,8439	0,8846	0,8609	0,8626
<i>Q<sub>1,0</sub></i>	1	0,849	0,843	0,884	0,860	0,861

**CONCLUSION**

Companies have complex business processes in terms of product diversity and sending semi-finished and finished products both domestically and abroad. Today, with the effect of globalization, the removal of borders between countries, the formation of a competitive environment, and the importance of customer demands, logistics processes gain importance. Reducing costs by investing in logistics processes, transferring risks in activities such as transportation and stocking are important decisions for the company to focus on its core business. With these decisions, businesses can concentrate on production, increase customer satisfaction, save on costs such as vehicles, equipment, and stock levels, and access technological opportunities more easily. In short, many of the reasons mentioned have caused businesses to procure transportation services from logistics service providers. This concept is referred to as the concept of 3PL and it significantly alleviates the burden of businesses in terms of focusing on their professionalism.

In this study, the evaluation process of 3PL alternatives for a cable manufacturing company is discussed. The decision-makers in the study first determined the criteria for the service provider they needed. The SWARA method was used for the weight values of the determining criteria. Each decision-maker evaluated all criteria with this method. After the criteria weights were determined, each alternative service provider was evaluated. At this stage, the WASPAS method was used. Five different service providers determined by the decision-makers were evaluated by considering the steps of the method. It has been seen that the provider that meets the criteria at the most appropriate level among five different service providers is the third service provider. This work has limitations, which can be viewed as opportunities for further research. First and foremost, the scope of this research is restricted to the electrical cable manufacturing industry. Every industry has its own set of roadblocks to overcome. As a result, the answer differs depending on the



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972885

industry. This research can be applied to a variety of companies using a similar or different set of factors.

### 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

- Alnahhal, Mohammed, Mosab I. Tabash, and Diane Ahrens. 2021. "Optimal Selection of Third-Party Logistics Providers Using Integer Programming: A Case Study of a Furniture Company Storage and Distribution." *Annals of Operations Research*.
- Baušys, Romualdas, and Birutė Juodagalvienė. 2017. "Garage Location Selection for Residential House by WASPAS-SVNS Method." *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Chakraborty, Shankar, and Edmundas Kazimieras Zavadskas. 2014. "Applications of WASPAS Method in Manufacturing Decision Making." *Informatica (Netherlands)*.
- Chima, Christopher M. 2011. "Supply-Chain Management Issues In The Oil And Gas Industry." *Journal of Business & Economics Research (JBER)*.
- Coyle, J. J., C. J. Langley, R. A. Novack, and B. Gibson. 2012. "Supply Chain Network Analysis and Design." in *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*.
- Davoudabadi, Reza, S. Meysam Mousavi, and Ebrahim Sharifi. 2020. "An Integrated Weighting and Ranking Model Based on Entropy, DEA and PCA Considering Two Aggregation Approaches for Resilient Supplier Selection Problem." *Journal of Computational Science*.
- Deng, Fumin, Lin Xu, Yuan Fang, Qunxi Gong, and Zhi Li. 2020. "PCA-DEA-Tobit Regression Assessment with Carbon Emission Constraints of China's Logistics Industry." *Journal of Cleaner Production*.
- Fan, Jianping, Runan Guan, and Meiqin Wu. 2020. "Z-MABAC Method for the Selection of Third-Party Logistics Suppliers in Fuzzy Environment." *IEEE Access*.
- Govindan, Kannan, Hamed Soleimani, and Devika Kannan. 2015. "Reverse Logistics and Closed-Loop Supply Chain: A Comprehensive Review to Explore the Future." *European Journal of Operational Research*.
- Hashemkhani Zolfani, Sarfaraz, Mohammad Hasan Aghdaie, Arman Derakhti, Edmundas Kazimieras Zavadskas, and Mohammad Hossein Morshed Varzandeh. 2013. "Decision Making on Business Issues with Foresight Perspective; An Application of New Hybrid MCDM Model in Shopping Mall Locating." *Expert Systems with Applications*.
- Hashemkhani Zolfani, Sarfaraz, and Mohsen Bahrami. 2014. "Investment Prioritizing in High Tech Industries Based on SWARA-COPRAS Approach." *Technological and Economic Development of Economy*.
- Hashemkhani Zolfani, Sarfaraz, Edmundas Kazimieras Zavadskas, and Zenonas Turskis. 2013. "Design of Products with Both International and Local Perspectives Based on Yin-Yang Balance Theory and SWARA Method." *Ekonomika Istrazivanja*.
- Hou, Jiachen, and Daizhong Su. 2006. "Integration of Web Services Technology with Business Models within the Total Product Design Process for Supplier Selection." *Computers in Industry*.
- Igoulalene, Idris, Lyes Benyoucef, and Manoj Kumar Tiwari. 2015. "Novel Fuzzy Hybrid Multi-Criteria Group Decision Making Approaches for the Strategic Supplier Selection Problem." *Expert Systems with Applications*.
- Jahan, Ali. 2018. "Developing Waspas-RTB Method for Range Target-Based Criteria: Toward Selection for Robust Design." *Technological and Economic Development of Economy*.
- Kannan, Govindan, Shaligram Pokharel, and P. S. Kumar. 2009. "A Hybrid Approach Using ISM and Fuzzy TOPSIS for the Selection of Reverse Logistics Provider." *Resources, Conservation and Recycling*.
- Karabasevic, Darjan, Jane Paunkovic, and Dragisa Stanujkic. 2016. "Ranking of Companies According to the Indicators of Corporate Social Responsibility Based on SWARA and ARAS Methods." *Serbian Journal of Management*.
- Karabasevic, Darjan, Dragisa Stanujkic, Snezana Urosevic, and Mladjan Maksimovic. 2016. "An Approach to Personnel Selection Based on Swara and Waspas Methods." *Bizinfo Blace*.
- Keršulienė, Violeta, Edmundas Kazimieras Zavadskas, and Zenonas Turskis. 2010. "Selection Of Rational Dispute Resolution Method By Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)." *Journal of Business Economics and Management*.
- Keshavarz Ghorabae, Mehdi, Maghsoud Amiri, Edmundas Kazimieras Zavadskas, and Jurgita Antuchevičienė. 2017. "Assessment of Third-Party Logistics Providers Using a CRITIC-WASPAS Approach with Interval Type-2 Fuzzy

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972885

- Sets.” *Transport*.
- Liou, James J. H., and Yu Tai Chuang. 2010. “Developing a Hybrid Multi-Criteria Model for Selection of Outsourcing Providers.” *Expert Systems with Applications*.
- Liu, Yumin, Peng Zhou, Liyuan Li, and Feng Zhu. 2020. “An Interactive Decision-Making Method for Third-Party Logistics Provider Selection under Hybrid Multi-Criteria.” *Symmetry*.
- Malekpoor, Hanif, Konstantinos Chalvatzis, Nishikant Mishra, Mukesh Kumar Mehlatat, Dimitrios Zafirakis, and Malin Song. 2018. “Integrated Grey Relational Analysis and Multi Objective Grey Linear Programming for Sustainable Electricity Generation Planning.” *Annals of Operations Research*.
- Mardani, Abbas, Mehrbakhsh Nilashi, Norhayati Zakuan, Nanthakumar Loganathan, Somayeh Soheilrad, Muhamad Zameri Mat Saman, and Othman Ibrahim. 2017. “A Systematic Review and Meta-Analysis of SWARA and WASPAS Methods: Theory and Applications with Recent Fuzzy Developments.” *Applied Soft Computing*.
- Miah, Shah Jahan, Kamrul Ahsan, and Kabossa A. B. Msimangira. 2014. “An Approach of Purchasing Decision Support in Healthcare Supply Chain Management.” *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*.
- Minashkina, Daria, and Ari Happonen. 2020. “Systematic Literature Review and Research Gap Issues on Third Party Logistics Operators Selecting WMS for Efficient Operations for Customers.” *International Journal of Supply Chain and Inventory Management*.
- Mirzaee, Seyed Moslem Seyed, Seyed Heydar Mirfakhredini, Alireza Nasser Sadrabadi, and Ali Morovati Sharifabadi. 2020. “Compiling the Strategies of Alfa Mining Company and Prioritizing Them by Waspas Method.” *Logforum*.
- Nakhaei, Jalal, Shahin Lale Arefi, Mahdi Bitarafan, and Simona Kildienė. 2016. “Evaluation of Light Supply in the Public Underground Safe Spaces by Using of COPRAS-SWARA Methods.” *International Journal of Strategic Property Management*.
- Qian, Xiaohu, Shu Chong Fang, Mingqiang Yin, Min Huang, and Xin Li. 2021. “Selecting Green Third Party Logistics Providers for a Loss-Averse Fourth Party Logistics Provider in a Multiattribute Reverse Auction.” *Information Sciences*.
- Rashidi, Kamran, and Kevin Cullinane. 2019. “A Comparison of Fuzzy DEA and Fuzzy TOPSIS in Sustainable Supplier Selection: Implications for Sourcing Strategy.” *Expert Systems with Applications*.
- Raut, Rakesh, Manoj Kharat, Sheetal Kamble, and Chandra Shekhar Kumar. 2018. “Sustainable Evaluation and Selection of Potential Third-Party Logistics (3PL) Providers: An Integrated MCDM Approach.” *Benchmarking*.
- Roy, Jagannath, Dragan Pamučar, and Samarjit Kar. 2020. “Evaluation and Selection of Third Party Logistics Provider under Sustainability Perspectives: An Interval Valued Fuzzy-Rough Approach.” *Annals of Operations Research*.
- Ruzgys, Audrius, Robertas Volvačiovias, Česlovas Ignatavičius, and Zenonas Turskis. 2014. “Integrated Evaluation of External Wall Insulation in Residential Buildings Using SWARA-TODIM MCDM Method.” *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Schniederjans, Marc J., Ashlyn M. Schniederjans, and Dara G. Schniederjans. 2006. *Outsourcing Management Information Systems*.
- Senthil, S., B. Srirangacharyulu, and A. Ramesh. 2014. “A Robust Hybrid Multi-Criteria Decision Making Methodology for Contractor Evaluation and Selection in Third-Party Reverse Logistics.” *Expert Systems with Applications*.
- Shukla, Sandarb, P. K. Mishra, Rajeev Jain, and H. C. Yadav. 2016. “An Integrated Decision Making Approach for ERP System Selection Using SWARA and PROMETHEE Method.” *International Journal of Intelligent Enterprise*.
- Singh, Rajesh Kr, Angappa Gunasekaran, and Pravin Kumar. 2018. “Third Party Logistics (3PL) Selection for Cold Chain Management: A Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Approach.” *Annals of Operations Research*.
- Stanujkic, Dragisa, Darjan Karabasevic, and Edmundas Kazimieras Zavadskas. 2015. “A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method.” *Engineering Economics*.
- Stojić, Gordana, Željko Stević, Jurgita Antuchevičienė, Dragan Pamučar, and Marko Vasiljević. 2018. “A Novel Rough WASPAS Approach for Supplier Selection in a Company Manufacturing PVC Carpentry Products.” *Information (Switzerland)*.
- Valipour, Alireza, Nordin Yahaya, Norhazilan Md Noor, Jurgita Antuchevičienė, and Jolanta Tamošaitienė. 2017. “Hybrid SWARA-COPRAS Method for Risk Assessment in Deep Foundation Excavation Project: An Iranian Case Study.” *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Vazifehdan, Mona Najjar, and Soroush Avakh Darestani. 2019. “Green Logistics Outsourcing Employing Multi Criteria Decision Making and Quality Function Deployment in the Petrochemical Industry.” *Asian Journal of Shipping and Logistics*.
- Wang, Chia Nan, Ngoc Ai Thy Nguyen, Thanh Tuan

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.972885

- Dang, and Chen Ming Lu. 2021. "A Compromised Decision-Making Approach to Third-Party Logistics Selection in Sustainable Supply Chain Using Fuzzy Ahp and Fuzzy Vikor Methods." *Mathematics*.
- Willcocks, Leslie. 2010. "The next Step for the CEO: Moving IT-enabled Services Outsourcing to the Strategic Agenda." *Strategic Outsourcing: An International Journal*.
- Wisner, Joel D., Keah-Choon Tan, and G. Keong Leong. 2015. *Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach*.
- Yadav, Sanjeev, Dixit Garg, and Sunil Luthra. 2020. "Selection of Third-Party Logistics Services for Internet of Things-Based Agriculture Supply Chain Management." *International Journal of Logistics Systems and Management*.
- Yazdani, Morteza, Edmundas Kazimieras Zavadskas, Joshua Ignatius, and Manuel Doval Abad. 2016. "Sensitivity Analysis in MADM Methods: Application of Material Selection." *Engineering Economics*.
- Yin, Peng Yeng, Tsai Hung Wu, and Ping Yi Hsu. 2017. "Simulation Based Risk Management for Multi-Objective Optimal Wind Turbine Placement Using MOEA/D." *Energy*.
- Zarbakshnia, Navid, Hamed Soleimani, and Hadi Ghaderi. 2018. "Sustainable Third-Party Reverse Logistics Provider Evaluation and Selection Using Fuzzy SWARA and Developed Fuzzy COPRAS in the Presence of Risk Criteria." *Applied Soft Computing*.
- Zavadskas, E. K., Z. Turskis, J. Antucheviciene, and A. Zakarevicius. 2012. "Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment." *Elektronika Ir Elektrotechnika*.
- Zolfani, Sarfaraz Hashemkhani, Morteza Yazdani, Ali Ebadi Torkayesh, and Arman Derakhti. 2020. "Application of a Gray-Based Decision Support Framework for Location Selection of a Temporary Hospital during COVID-19 Pandemic." *Symmetry*.

## Alizarin Red Boyar Maddesinin Dietilaminodekstran/Epiklorohidrin (DEAE-D/ECH) Kriyojeli ile Sulu Çözeltiden Gideriminin Araştırılması

Celile Demirbilek Bucak<sup>1\*</sup>, Cemile Özdemir Dinç<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Teknoloji ve Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi Hatay, Türkiye

<sup>2</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Hatay, Türkiye

\*c.demirbilekbucak@mku.edu.tr<sup>ID</sup>, cozdemir@mku.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 22.02.2021, Makale kabul tarihi: 10.07.2021

### Öz

Bu çalışmada, polimerik adsorban dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin (DEAE-D/ECH) kriyojelinin sudan boyar madde adsorplama yeteneği araştırılmıştır. Dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin kriyojeli ile suda çözünen Alizarin Red boyar maddesinin etkileşim mekanizması açıklanmıştır. Adsorpsiyondan önce ve sonra yapılan FTIR analizleri ve yüzey morfolojik analizler ile adsorpsiyonun mekanizması belirlenmiştir. Dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin kriyojelinin saf suda (% 2630) ve Alizarin Red boyası çözeltisinde (%1678) yüksek şişme oranına sahip olduğu görülmüştür. Adsorpsiyona başlangıç boya derişiminin etkisi ve Langmuir ve Freundlich izotermine uygunluğu araştırılmıştır. Sonuç olarak Alizarin Red boyasının dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin kriyojeline adsorpsiyonunun Langmuir izotermine göre uygun olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Adsorpsiyon, Alizarin Red, kriyojel

### Investigation of the removal of Alizarin Red dye from aqueous solution with Diethylaminodextran / Epichlorohydrin (DEAE-D / ECH) cryogel

#### Abstract

This study describes the dyestuff removal ability of diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel polymeric adsorbents. The interaction between diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel and a water-soluble dyestuff, Alizarin Red, was investigated. The mechanism of adsorption is explained with fourier transform infrared analyzes and surface morphological analyzes performed before and after adsorption. Diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel was found to have a high swelling rate in pure water (2630%) and Alizarin Red dye solution (1678%). The effect of initial dye concentration on adsorption and its suitability to the Langmuir and Freundlich isotherms were investigated. As a result, it was determined that the adsorption of Alizarin Red dye to diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel was appropriate according to the Langmuir isotherm.

**Keywords:** Adsorption, Alizarin Red, cryogel

#### GİRİŞ

Tekstil, deri, kağıt, plastik vb. endüstrilerin atık sularında çeşitli türlerde sentetik boyarmaddeler ortaya çıkmaktadır (Lin ve ark., 2021). Boyalar genel olarak karmaşık aromatik yapıda olan oldukça stabil ve biyolojik olarak bozunmaları zor olan moleküllerdir (Sarkar ve ark., 2017). Sonuç olarak boyar madde kaynaklı atık sular oluşmaktadır. Boyaların su ortamından uzaklaştırılması çoğunun toksik olması, kanserojenik etki göstermesi, alerjiye ve cilt tahrişine neden olması nedeniyle oldukça önemlidir (Svedman ve ark., 2019).

Son yıllarda boyar maddelerin atık sulardan giderilmesi için birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Biyolojik filtre (Qian ve ark., 2021); ultrafiltrasyon (Hu ve ark., 2021); membran ile ayırma (Liu ve ark., 2021) bu yöntemlerin bazılarıdır. Bu yöntemlerin çoğunun mühendislik ve ekonomik açıdan gerçek sistemlerde uygulanamıyor oluşu dezavantaj sağlamaktadır (Salem ve ark., 2020). Bunun aksine adsorpsiyon, uygulanabilir oluşu, basit ve ucuz olması nedeniyle sulardan boyar maddeleri gidermek için çok etkili bir yöntem olarak bilinir. Sulardan boyar madde, metal iyonları veya organik molekülleri

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.884865

ayırarak için çeşitli adsorban malzemeler kullanılmaktadır. Perlit (Tanaydın ve ark., 2020); hidrojel (Mittal ve ark., 2021); aktif karbon (Wang ve ark., 2020); hibrit kompozit (Vo ve ark., 2021); kitosan kompozit film (Hussain ve ark., 2021) bu malzemelerden bazılarıdır. Günümüzde yüksek adsorpsiyon kapasitesi, hızlı adsorpsiyon oranı ve mekanik mukavemet gibi üstün özelliklere sahip yeni adsorbanların geliştirilmesi, atık su arıtımı için oldukça önemlidir. Hidrojellerin yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmaları, sulardaki boyar maddelerin uzaklaştırılmasında tercih edilmelerini sağlamıştır.

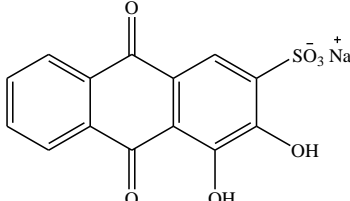
Hidrojeller, yüksek sıcaklıkta ya da oda sıcaklığında hazırlanan gözenekli çapraz bağlı polimerik yapılardır. Kriyojeller ise çoğunlukla hazırlanan çözücünün donma noktasının altında (0°C ile -20°C aralığında) hazırlanan çapraz bağlı polimerlerdir. Elastik, süngerimsi, gevşek ve makrogözenekli olan kriyojellerin sentezi, başlatıcı ve monomerleri içeren kısmen donmuş faz içinde gerçekleşir. Burada çözücü, porojen ve dispersiyon

ajanı olarak davranmaktadır (Jian ve ark., 2015). Kriyojeller biyoteknolojiden su arıtma teknolojilerine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptirler (González ve ark., 2021; Fariás ve ark., 2020; Shiekh ve ark., 2020).

Bir antrakinon boyası olan Alizarin Red (AR); suda iyi çözünen, antrasen türevi olan bir boyar maddedir (Liu ve ark., 2015). Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözünmüş yapıdaki AR boyasının aromatik yapısı nedeniyle bozunmaya karşı dirençli olması su ekosistemi ve canlı sağlığı için tehlikeli olmaktadır. Bu nedenle AR in sudan ayrılması çok önemlidir. Bugünlerde AR sulardan giderimi için adsorpsiyon (Fayazi ve ark., 2015); başta olmak üzere, fotokatalitik bozunma (Jabeen ve ark., 2017); elektrokimyasal bozunma (Zhu ve ark., 2018) gibi birçok yöntem geliştirilmiştir.

Bu çalışmada dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin (DEAE-D/ECH) kriyojeli sentezlenerek FTIR ve SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca suda şişme yeteneği belirlenmiştir. Sulu çözeltiden AR boyar maddesinin

**Tablo 1** Alizarin Red boyar maddesinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Adı	Kimyasal formülü	Molekül ağırlığı	Renk indeks no	$\lambda_{max}$ (nm)
Alizarin Red		342,25	58005	429

adsorpsiyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca denge adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygunluğu hesaplanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### DEAE-D/ECH kriyojelinin Sentezi

Çapraz bağlı DEAE-D/ECH kriyojelinin sentezlenmesi için 3,94 g DEAE-Dx 15 mL 2,8 M NaOH çözeltisinde çözülerek son hacim 25 mL'ye tamamlanmıştır. Bu çözeltiye 1 mL başlatıcı sistem çözeltisi (0,3 g APS/10 mL su +0,02 g sodyum tiyosülfat/10 mL su) eklenmiştir. 15 dk boyunca buz banyosunda karıştırılıp üzerine 1 mL ECH ve 0,3 mL TEMED eklenmiştir. Berrak halde elde edilen çözelti şırıngaya çekilerek 24 saat -20 °C'de bekletilmiştir.

Elde edilen kriyojel oda sıcaklığında 12 saat bekletilip şırıngadan ayrılmış ve birkaç kere (1:1) metanol-su (v/v) karışımı ile yıkanmıştır. Son adımda 70 °C'de etüvde kurutularak karakterizasyon ve adsorpsiyon çalışmaları için +4 °C'de saklanmıştır.

Bu çalışmada başlangıç polimeri DEAE-D klorür [Mw: 500.000 g / mol] Sigma firmasından temin edilmiştir. Hızlandırıcı olarak N,N,N',N'-tetrametilenetildiamin (TEMED); çapraz bağlayıcı olarak epiklorohidrin (ECH) ve başlatıcı sistem olarak amonyum peroksidisülfat (APS) ve sodyum tiyosülfat Merck firmasından temin edilmiştir. Çapraz bağlanma reaksiyonunun alkali ortamda gerçekleşmesi için kullanılan NaOH, Merck firmasından temin edilmiştir. Satın alınan bütün

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.884865

kimyasallar saflaştırma tekniğine tabi tutulmadan kullanılmışlardır.

Çalışmada, model boyar madde olarak Tablo 1'de kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri tanımlanan Alizarin Red S (AR) (3,4-Dihidroksi-9,10-diokso-9,10-dihydroanthrasen-2-sülfonik asit) kullanılmıştır.

### Kriyojelin Şişme Denemeleri

Şişme dinamik 25 ° C' de yaklaşık 0,1 g kriyojel kullanılarak AR çözeltisi ve saf suda gerçekleştirilmiştir. Şişme çözeltilerine konulan kriyojel düzenli zaman aralıklarında alınmıştır. Kriyojelin nemli yüzeyi filtre kâğıdı ile silindikten sonra, ağırlığı kaydedilmiştir. Denge şişme değerleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S = \frac{(w_t - w_o)}{w_o} * 100 \text{ (Eşitlik 1)}$$

Burada;  $w_o$ , hidrojel kuru ağırlığı (başlangıç ağırlığı) ve  $w_t$ , belirli bir zamanda (t) şişmiş jelin ağırlığıdır.

### DEAE-D/ECH kriyojelinin karakterizasyonu

AR boyasının DEAE-D/ECH kriyojeline adsorplanma mekanizmasını açıklamak için adsorpsiyondan önce ve adsorpsiyondan sonra kriyojel numunelerinin FTIR spektrumları 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında ATR tekniği kullanılarak alınmıştır (SHIMADZU IRAffinity1S). Ayrıca kriyojelin ve AR adsorplanmış kriyojelin morfolojik özellikleri SEM cihazı (JSM 5500, JEOL) ile belirlenmiştir.

### Adsorpsiyon çalışmaları

Adsorpsiyon çalışmaları için 1000 mg/L'lik stok AR boya çözeltisi hazırlanmıştır.

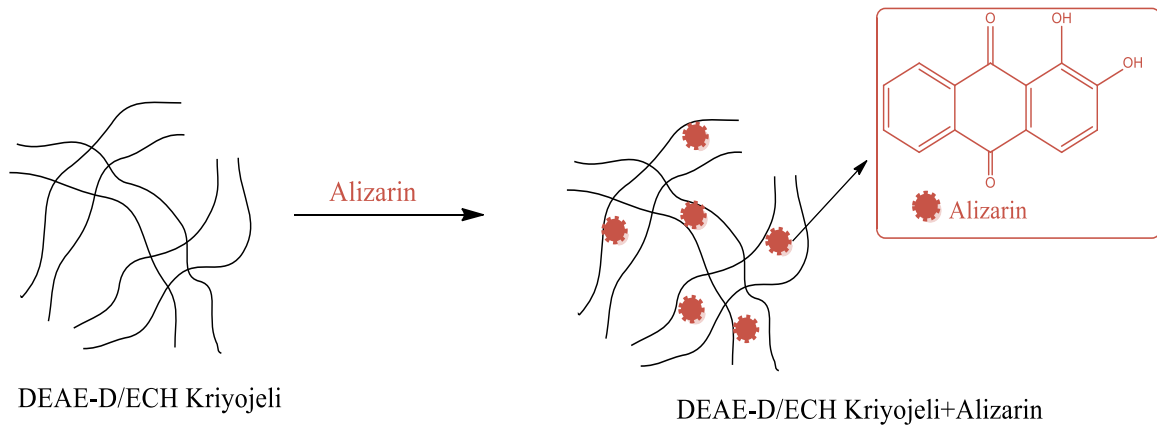
DEAE-D/ECH kriyojeline model boya AR adsorplanması deneyleri magnetik karıştırıcı kullanılarak 100 mL'lik ağzı kapalı balonlarda gerçekleştirilmiştir. Denge adsorpsiyon deneyleri, 50 mL'lik farklı derişimlerdeki (25-250 mg/L) AR çözeltilerine 0,1 g kriyojel eklenmesi ile oda sıcaklığında 24 saatte tamamlanmıştır. İşlem sonunda kriyojel çözeltilerden ayrılmış ve kalan çözeltiler süzümüştür (Şekil 1). Süzüntünün absorpsiyon değerleri UV-Vis (Hitachi U-1900) cihazı ile 429 nm dalga boyunda ölçümüştür. Numunelerdeki boya miktarları, çeşitli konsantrasyonlarda boya için çizilen kalibrasyon eğrisinden elde edilen  $y = 0,0046x - 0,099$  ( $R^2 = 0,9982$ ) doğrusal regresyon denklemi kullanılarak belirlenmiştir. Çözeltilerden ayrılan AR miktarı ve adsorpsiyon kapasitesi ( $q_e$ , mg boya /g kriyojel) Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Adsorplanan boya (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100 \text{ (Eşitlik 2)}$$

Burada  $C_o$  ve  $C_t$  ve (mg/L) sırasıyla başlangıçta ve t süresi sonunda çözeltilerdeki boya derişimleridir.

$$\text{Adsorplama kapasitesi } (q_e) = \frac{C_o - C_e}{w} * V \text{ (Eşitlik 3)}$$

Burada V çözeltili hacmi (mL) ve w (g) alınan kriyojel miktarını ifade etmektedir.



Şekil 1. DEAE-D Kriyojeline Alizarin Red Adsorpsiyonu

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.884865

## TARTIŞMA ve SONUÇ

### Kriyojelin suda ve Alizarin Red S çözeltisinde şişme davranışı

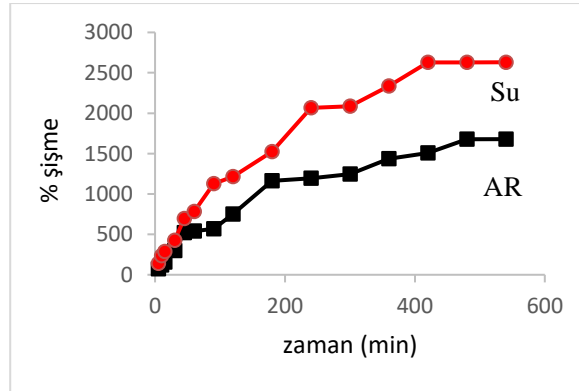
Kirletici türleri sulu ortamdan uzaklaştırmak için sentezlenen kriyojellerin şişme özellikleri çok önemlidir. Bu nedenle sentezlenen kriyojelin suda şişme davranışı incelenmiştir. Başlangıçta kuru olan kriyojelin su alıp şişme davranışı gravimetrik olarak takip edilmiştir. Suda yeterince şişip dengeye gelen kriyojelin şeklini koruyacak kadar güçlü olması dikkat çekicidir. Bazı araştırmacılar, kriyojellerin suda şişme özelliklerinin boya adsorpsiyon özellikleriyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (Önder ve ark., 2020; Hu ve ark., 2020).

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan boya madde su ile kolayca hidrojen bağı oluşturabilecek yeteneğe sahip hidrofilik gruplar içermektedir. Sonuç olarak DEAE-D/ECH kriyojeli tarafından boya adsorpsiyonunun mekanizması temel olarak boya molekülleri ile kriyojel molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşimleri ve hidrojen bağı oluşumu gibi fiziksel etkileşimlerden kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 2).

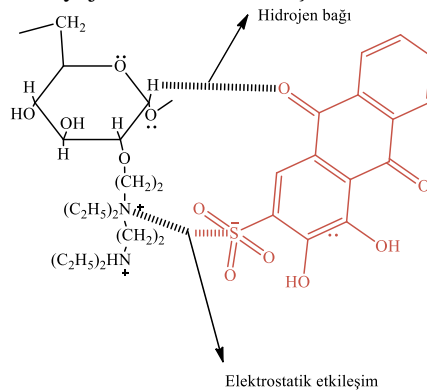
Kriyojelin su ve AR çözeltisinde dinamik şişme eğrileri Şekil 2 de verilmektedir. Şekil 3 de görüldüğü gibi kriyojelin şişme yeteği zamanla artarak, belirli bir süre sonra dengeye ulaşmıştır. AR çözeltisindeki şişme derecesi (%1678) sudaki denge şişme derecesinden (%2630) azdır. Bu azalmanın AR moleküllerinin jel sistemine girmesi ile oluşan iyonik etkileşimden kaynaklanmaktadır.

### FTIR Sonuçları

Boya gibi çeşitli organik bileşiklerin hidrojel, kriyojel gibi çeşitli adsorbanlar üzerine adsorplanma mekanizmalarının belirlenmesinde FT-IR titreşim spektroskopisinden yararlanılmaktadır (González ve ark., 2021). Adsorpsiyon öncesi ve sonrası DEAE-D/ECH kriyojelinin FTIR spektrumlarından elde edilen pik şiddetleri ve bant konumlarındaki değişiklikler Tablo 2’de verilmektedir. Kriyojelin spektrumundan elde edilen verilere göre  $3341\text{ cm}^{-1}$ ’de (O-H) gerilme titreşimi  $1651\text{ cm}^{-1}$  (N-H) bağı ve  $2949\text{ m}^{-1}$   $\text{CH}_3$ ’e ait (C-H) gerilmesi gözlemlenmiştir.



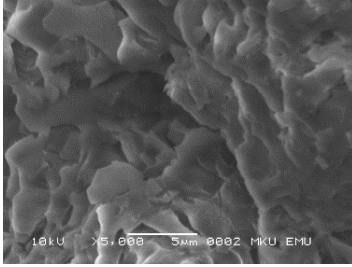
Şekil 2. DEAE-D/ECH kriyojelinin suda ve AR çözeltisinde dinamik şişme eğrileri



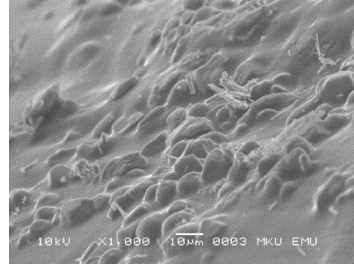
Şekil 3. DEAE-D/ECH kriyojeline AR boyar maddesinin adsorpsiyon mekanizması

Tablo 2. Adsorpsiyon öncesi ve sonrası DEAE-D/ECH kriyojelinin ayrıntılı FTIR spektrumları

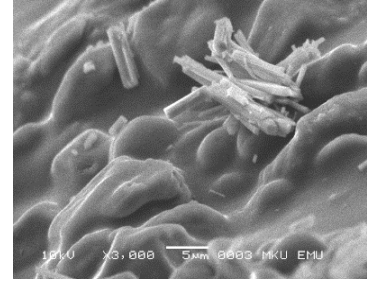
Dalga Sayısı, $\text{cm}^{-1}$		Fonksiyonel grup
DEAE-D/ECH	DEAE-D/ECH-AR	
3341	3364-3210	O-H, N-H gerilmesi
2924	2926	C-H gerilmesi
-	1728	C=O
1651	1666	N-H bükülmesi
-	1590	Aromatik halka C-C gerilmesi
1427	1470	C-C gerilmesi
-	1258	Antrasen iskeletine ait C=O iskeleti
-	1011	Sülfonat grubunun simetrik ve asimetrik gerilmesi
640	640	C-Cl



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. DEAE-D/ECH kriyojelinin SEM görüntüleri (a) adsorpsiyondan önce (b-c) adsorpsiyondan sonra

(C-O-C) gerilme titreşim,  $1103 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-Cl gerilmesi ise  $640 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. AR in yapıya adsorpsiyonu ile birlikte DEAE-D/ECH kriyojeline ait FTIR spektrumunda bazı değişiklikler gözlenmektedir.  $1728 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda gözlenen pik C=O gerilmesi,  $1590 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda gözlenen pik aromatik halka C-C gerilmesi,  $1258 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda gözlenen pik antrasen iskeletine ait C=O gerilmesi,  $1011 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda gözlenen pik ise sülfonat grubunun simetrik ve asimetrik gerilmesi ile ilişkilidir (Legan ve ark., 2016). FTIR spektrumlarında meydana gelen bu değişimler yapıya giren AR boyasından kaynaklanmaktadır.

### Morfolojik Özellikler

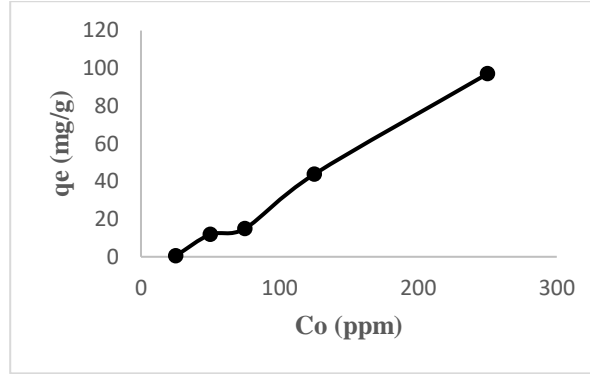
DEAE-D/ECH kriyojelinin ve AR adsorplamış kriyojelin SEM görüntüleri Şekil 4 de verildiği gibidir. Görüldüğü

gibi kriyojel gözenekli, çapraz bağlı matris şeklindedir. Bu görüntülerden kriyojelin boya adsorplamak için uygun yapıda olduğu söylenebilir. Boya adsorpladıktan sonra jelin yüzeyinde değişimler görülmektedir. AR yüklenmesi ile gözeneklerin boya madde ile yüklenmesinden dolayı jel yüzeyinin daha sert ve daha düzenli olduğu gözlenmektedir.

### Adsorpsiyon çalışmalarına başlangıç boya derişiminin etkisi

Şekil 5,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de çapraz bağlı DEAE-D/ECH kriyojelinin AR boyası ile denge adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin etkisini göstermektedir. Başlangıç boya derişiminin artması kriyojelin üzerine boyanın adsorpsiyon kapasitesinde artışa yol açmaktadır. Başlangıç boya derişimi  $25 \text{ mg/L}$ 'den  $250 \text{ mg/L}$ 'ye çıktığında adsorplama kapasitesi  $0,46 \text{ mg/g}$ 'dan  $97,07 \text{ mg/g}$ 'a yükselmiştir. Adsorbentin adsorplama kapasitesindeki artışın, boya madde derişimi ile beraber





Şekil 5. Adsorpsiyon çalışmalarına başlangıç boya derişiminin etkisi

### Adsorpsiyon izoterm çalışmaları

Tablo 3. Adsorpsiyon izotermi için hesaplanan parametreler

Langmuir				Freundlich		
$K_L$	$q_m$	$R_L$	$R^2$	$K_f$	$n$	$R^2$
86,63	201,69	0.00023	1	0,4231	0,93	0,998.

artmasının sebebi adsorbent madde ile boya arasındaki temas olasılığının artması ile açıklanmaktadır. Başlangıç AR derişimi ile ayrılan AR miktarının artması, daha derişik çözeltinin daha iyi adsorbe olması ile açıklanabilir.

Adsorpsiyon sistemlerinin oluşturulması için, adsorpsiyon izotermelerinin araştırılması çok önemli bir olgudur. Adsorpsiyon sürecinin dengeye ulaştığı anda sulu çözeltideki boya derişimi ve adsorplanan boya derişimi arasındaki ilişki, adsorpsiyon izotermi ile tanımlanmaktadır. AR boyar maddesinin DEAE-D/ECH kriyojeli yüzeyine adsorpsiyon olayının daha iyi açıklanabilmesi için Langmuir, Freundlich izoterm modelleri kullanılmıştır. Denge izoterm verilerini analiz etmek için Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin doğrusal olmayan formları kullanılmış ve bu modeller doğrusal olmayan belirleme katsayılarıyla değerlendirilmiştir.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Burada,  $q_e$  dengede adsorbent üzerine adsorplanan AR derişimi

$q_m$  Adsorbentın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

$K_L$  Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)

$C_e$  Çözeltide dengedeki AR derişimi,

$K_F$  Freundlich sabiti

$n$  heterojenlik faktörü

Eşitlik 4 Langmuir izoterm denklemini Eşitlik 5 Freundlich izoterm denklemini ifade etmektedir.

AR adsorpsiyonu için dengede adsorpsiyon izotermi Langmuir ve Freundlich modellerine ilişkin parametreleri  $R^2$  regresyon katsayıları ile birlikte Tablo 3 de listelenmiştir. Langmuir ve Freundlich modellerinin korelasyon katsayıları  $R^2$  sırasıyla 1 ve 0,9983 olarak görülmektedir. Bu nedenle AR in DEAE-D/ECH kriyojeline adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izoterm yasasının geçerli olduğu söylenmektedir. Onder ve ark. (2020), Ar boyar maddesinin poly[(2-(akriloyloksi)etil)trimetilamonyum kloride-co-1-vinil-2-pirolidon] katyonik hidrojeline adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak, Langmuir adsorpsiyon izoterm modelinden elde edilen Langmuir parametresi  $R_L$ , adsorpsiyon işleminin uygunluğunu tahmin etmek için kullanılır (Eşitlik 6).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Burada,  $C_0$  Çözeltide başlangıç derişimi (mg/L) ifade etmektedir.

İzoterm,  $R_L$ , değerine bağlı olarak ( $R_L > 1$ ) ise adsorpsiyon uygun değildir. ( $R_L = 1$ ) doğrusal ve ( $1 > R_L, > 0$ ) ise uygundur. Son olarak ( $R_L = 0$ ) ise adsorpsiyon tersinmez olarak kabul edilir.  $R_L$  değeri 0,00023 olarak hesaplandığına göre AR boyar maddesinin adsorpsiyonu için DEAE-D/ECH kriyojelinin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.884865

## SONUÇ

Bu çalışmada, organizmalar için zararlı olan Alizarin Red S (AR) boyar maddesinin sulu ortamdan uzaklaştırılması için DEAE-D/ECH kriyojel sistemi geliştirilmiştir. Kriyojel bazik ortamda APS ve TEMED başlatıcı sistemi kullanılarak dondurma yöntemiyle sentezlenmiştir. Ayrıca DEAE-D/ECH kriyojelinin boya adsorpsiyonunu etkileyen önemli parametre olan şişme deneyleri sonucunda, kriyojelin suda yüksek şişme oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Kriyojel ve boya adsorplamış kriyojelin yapısı FTIR ve SEM analizleri ile açıklanmıştır. Ayrıca adsorpsiyona başlangıç boya derişiminin etkisi incelenmiştir. Başlangıç boya derişiminin artması ile adsorplama kapasitesi 0,46 mg/g'dan 97,07 mg/g'a yükselmiştir. Ayrıca adsorpsiyonun doğasının aydınlatılabilmesi için izoterm çalışması yapılmıştır. Bunun için Langmuir, Freundlich izotermelerine uygunluğu araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeline uygun olduğu rapor edilmiştir. Sonuç olarak sentezlenen DEAE-D/ECH kriyojelinin AR boyanın sulu çözeltilerden ayrılmasında etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma; 9980 nolu Araştırma Projesi olarak, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi tarafından finanse edilmiştir. Katkılarından dolayı HMKÜBAP ve MARGEM'e teşekkür ederiz.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan ederim.

## KAYNAKLAR

Fariás, T., Hajizadeh, S., & Ye, L. (2020). Cryogels with high cisplatin adsorption capacity: Towards removal of cytotoxic drugs from wastewater. *Separation and Purification Technology*, 235, 116203.  
 Fayazi, M., Ghanei-Motlagh, M., & Taher, M. A. (2015). The adsorption of basic dye (Alizarin red S) from aqueous solution onto activated carbon/ $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-composite: kinetic and equilibrium studies. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 40, 35-43.  
 García-González, A., Zavala-Arce, R. E., Avila-Pérez, P., Rangel-Vazquez, N. A., Salazar-Rábago, J. J.,

García-Rivas, J. L., & García-Gaitán, B. (2021). Experimental and theoretical study of dyes adsorption process on chitosan-based cryogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 75-84.  
 Hu, X., Yan, L., Wang, Y., & Xu, M. (2020). Freeze-thaw as a route to build manageable polysaccharide cryogel for deep cleaning of crystal violet. *Chemical Engineering Journal*, 396, 125354.  
 Hu, Y., Yue, M., Yuan, F., Yang, L., Chen, C., & Sun, D. (2021). Bio-inspired fabrication of highly permeable and anti-fouling ultrafiltration membranes based on bacterial cellulose for efficient removal of soluble dyes and insoluble oils. *Journal of Membrane Science*, 621, 118982.  
 Hussain, S., Kamran, M., Khan, S. A., Shaheen, K., Shah, Z., Suo, H., ... & Ghani, U. (2021). Adsorption, kinetics and thermodynamics studies of methyl orange dye sequestration through chitosan composites films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 383-394.  
 Jabeen, U., Shah, S. M., & Khan, S. U. (2017). Photo catalytic degradation of Alizarin red S using ZnS and cadmium doped ZnS nanoparticles under unfiltered sunlight. *Surfaces and Interfaces*, 6, 40-49.  
 Jian, W. A. N. G., Qin-Mei, W. A. N. G., Li-Li, T. I. A. N., Chen, Y. A. N. G., Su-Hua, Y. U., & Chun, Y. A. N. G. (2015). Research progress of the molecularly imprinted cryogel. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 43(11), 1777-1784.  
 Legan, L., Retko, K., & Ropret, P. (2016). Vibrational spectroscopic study on degradation of alizarin carmine. *Microchemical Journal*, 127, 36-45.  
 Lin, J., Su, T., Chen, J., Xue, T., Yang, S., Guo, P., ... & Li, J. (2021). Efficient adsorption removal of anionic dyes by an imidazolium-based mesoporous poly (ionic liquid) including the continuous column adsorption-desorption process. *Chemosphere*, 129640.  
 Liu, L., Yu, L., Borjigin, B., Liu, Q., Zhao, C., & Hou, D. (2021). Fabrication of thin-film composite nanofiltration membranes with improved performance using  $\beta$ -cyclodextrin as monomer for efficient separation of dye/salt mixtures. *Applied Surface Science*, 539, 148284.  
 Liu, S., Wei, M., Zheng, X., Xu, S., Xia, F., & Zhou, C. (2015). Alizarin red S functionalized mesoporous silica modified glassy carbon electrode for electrochemical determination of anthracene. *Electrochimica Acta*, 160, 108-113.  
 Mittal, H., Al Alili, A., Morajkar, P. P., & Alhassan, S. M. (2021). Graphene oxide crosslinked hydrogel nanocomposites of xanthan gum for the adsorption of crystal violet dye. *Journal of Molecular Liquids*, 323, 115034.  
 Onder, A., Ilgin, P., Ozay, H., & Ozay, O. (2020). Removal of dye from aqueous medium with pH-sensitive poly

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.884865

- [(2-(acryloyloxy) ethyl] trimethylammonium chloride-co-1-vinyl-2-pyrrolidone] cationic hydrogel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104436.
- Qian, W., Huang, H., Diao, Z., Li, H., Liu, H., Ye, M., ... & Xu, Z. (2021). Advanced treatment of dye wastewater using a novel integrative Fenton-like/MnO<sub>2</sub>-filled upward flow biological filter bed system equipped with modified ceramsite. *Environmental Research*, 194, 110641.
- Salem, S., Teimouri, Z., & Salem, A. (2020). Fabrication of magnetic activated carbon by carbothermal functionalization of agriculture waste via microwave-assisted technique for cationic dye adsorption. *Advanced Powder Technology*, 31(10), 4301-4309.
- Sarkar, S., Banerjee, A., Halder, U., Biswas, R., & Bandopadhyay, R. (2017). Degradation of synthetic azo dyes of textile industry: a sustainable approach using microbial enzymes. *Water Conservation Science and Engineering*, 2(4), 121-131.
- Svedman, C., Engfeldt, M., & Malinauskiene, L. (2019). Textile contact dermatitis: How fabrics can induce dermatitis. *Current Treatment Options in Allergy*, 6(1), 103-111.
- Tanaydın, Z. B., Tanaydın, M. K., Demirkıran, N., & Muharrem, İ. N. C. E. (2020). Bakır ve Kadmiyumun Perlit İle Adsorpsiyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 208-218.
- Vo, T. K., Trinh, T. P., Nguyen, V. C., & Kim, J. (2021). Facile synthesis of graphite oxide/MIL-101 (Cr) hybrid composites for enhanced adsorption performance towards industrial toxic dyes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 95, 224-234.
- Wang, H., Li, Z., Yahyaoui, S., Hanafy, H., Seliem, M. K., Bonilla-Petriciolet, A., ... & Li, Q. (2020). Effective adsorption of dyes on an activated carbon prepared from carboxymethyl cellulose: Experiments, characterization and advanced modelling. *Chemical Engineering Journal*, 128116.
- Zhu, C., Jiang, C., Chen, S., Mei, R., Wang, X., Cao, J., ... & Zhou, K. (2018). Ultrasound enhanced electrochemical oxidation of Alizarin Red S on boron doped diamond (BDD) anode: Effect of degradation process parameters. *Chemosphere*, 209, 685-695.

## Green Synthesis and Characterization of Anticancer Effected Silver Nanoparticles with Silverberry (*Elaeagnus angustifolia*) Fruit Aqueous Extract

Omer Erdogan<sup>1</sup>, Salih Pasa<sup>2</sup>, Ozge Cevik<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Aydın Adnan Menderes University, School of Medicine, Department of Biochemistry, Aydın Turkey

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe University, Faculty of Education, Department of Science, Afyonkarahisar, Turkey

omer.erdogan@adu.edu.tr<sup>ID</sup>, drsalihpasa@gmail.com<sup>ID</sup>, \*drozgecevik@gmail.com<sup>ID</sup>

Received date: 13.04.2021, Accepted date: 28.07.2021

### Abstract

Cancer is the deadliest health problem after cardiovascular system diseases. New strategies have been developed over the years in the fight against cancer. Silver nanoparticles are one of these approaches. In this study, it was aimed to synthesize silver nanoparticles with the green approach using *Elaeagnus angustifolia* aqueous extract and to investigate the cytotoxic effects of these nanoparticles. Silver nanoparticles have been characterized by analytical methods such as UV-Vis, FTIR, SEM, EDX. The peak around 3 keV in the EDX spectrum confirms the synthesis of silver nanoparticles. In vitro cytotoxic activity of silver nanoparticles was tested on human prostate cancer cell line PC3, human cervical cancer cell line HELA and normal mouse fibroblast cell line L929. It has been found that silver nanoparticles synthesized with the aqueous extract of *Elaeagnus angustifolia* showed a dose-dependent cytotoxic effect on HELA and PC3 cells.

**Keywords:** Anti-cancer, *Elaeagnus angustifolia*, green synthesis, silverberry, silver nanoparticles

## Antikanser Etkili Gümüş Nanopartiküllerinin İğde (*Elaeagnus angustifolia*) Meyvesi Sulu Ekstraktı ile Yeşil Sentezi ve Karakterizasyonu

### Öz

Kanser kardiyovasküler sistem hastalıklarından sonra gelen en ölümcül sağlık problemidir. Kanserle mücadelede yıllar içerisinde yeni stratejiler geliştirilmiştir. Gümüş nanopartikülleri bu yaklaşımlardan bir tanesidir. Bu çalışmada *Elaeagnus angustifolia* sulu ekstraktı kullanılarak gümüş nanopartiküllerinin yeşil sentezi ve bu nanopartiküllerin sitotoksik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Gümüş nanopartikülleri UV-Vis, FTIR, SEM, EDX gibi analitik metotlar ile karakterize edilmiştir. EDX spektrumunda 3 keV civarındaki pik gümüş nanopartiküllerinin sentezini doğrulamaktadır. Gümüş nanopartiküllerinin in vitro sitotoksik aktivitesi insan prostat kanser hücre hattı PC3, insan serviks kanseri hücre hattı HELA ve normal mouse fibroblast hücre hattı L929 üzerinde test edilmiştir. *Elaeagnus angustifolia* sulu ekstraktı ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin HELA ve PC3 hücreleri üzerinde doza bağımlı sitotoksik etki gösterdiği bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Anti-kanser, *Elaeagnus angustifolia*, yeşil sentez, iğde, gümüş nanopartikülleri

### INTRODUCTION

Cancer is one of the most important health problems threatening human life and ranks second worldwide after cardiovascular system diseases among the deaths whose cause is known (Siegel et al., 2019). Chemotherapy, which is the main strategy used in the fight against cancer, can be used alone or in combination with various treatment approaches (Hassanpour and Deghdani, 2017). Studies on the use of silver nanoparticles in cancer treatment have

gained momentum in recent years (Jeyraj et al., 2013).

Silver nanoparticles have succeeded in attracting the attention of the scientific world due to their superior physical, chemical and biological properties compared to other metal nanoparticles. Studies on the use of silver nanoparticles in medicine as anti-microbial, anti-fungal and anti-cancer agents are continuing intensively (Prabhu and Poulouse, 2012; Öztürk et al., 2020; Mohammed et

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.915005

al., 2020). There are three basic approaches in the synthesis of silver nanoparticles: physical, chemical, and biological. Since physical and chemical methods have some disadvantages such as expensive equipment, waste of time and the use of toxic materials, biological methods are more preferred in the synthesis of silver nanoparticles (Erdoğan et al., 2019; Zhang et al., 2021). Biocomponents found in biological materials play a role in synthesis reactions as reducing agents and reduce silver ions to metallic silver nanoparticles. Bacteria, fungi, algae and various plant components are used in biological synthesis (Wei et al., 2015). Since this method is environmentally and nature friendly, it is also called "Green Synthesis" in the literature. Plant extracts are a more ideal material in the green synthesis of nanoparticles since they do not have any contamination risk (Beykaya and Çağlar, 2016).

*Elaeagnus angustifolia*, known as İğde in our country and known as Russian olive throughout the world, grows especially in Asia and Europe. Especially in Middle Eastern countries, silverberry fruit is frequently used in wound healing, anti-ulcerogenic, anti-inflammatory, anti-emetic treatments and traditional medicine (Natanzi et al., 2012; Gurbuz et al., 2003; Ahmadiani et al., 2000; Rasekhi et al., 1999). *Elaeagnus angustifolia* fruit extract has been reported to contain various metabolites such as phytosterols, flavonoids, phenolic acids and terpenoids (Azez et al., 2018; Tepe and Doyuk, 2020). It is known that this rich metabolite content facilitates the reduction and stabilization of metal ions in nanoparticle synthesis (Baran, 2019).

In this study, it was aimed to synthesize silver nanoparticles with the green approach using *Elaeagnus angustifolia* aqueous extract and to investigate the cytotoxic effects of these nanoparticles. The synthesized nanoparticles were characterized by Ultraviolet-Visible Spectroscopy (UV-Vis), Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In addition, cytotoxic effects of silver nanoparticles on human cervical cancer cells (HELA), human prostate cancer cells (PC3) and mouse fibroblast cells (L929) were investigated.

## MATERIAL AND METHODS

### Preparation of *Elaeagnus Angustifolia* Fruit Aqueous Extract

The fruits of *Elaeagnus angustifolia*, which grows in stony soil at Aydın Adnan Menderes University Central Campus (37°51'15"N 27°51'22"E) were freshly picked in October 2020. The seed part of the fruit was discarded, and the pulp part was used for extraction (Figure 1). 100 g of fruit pulp was weighed and transferred to a 500 mL conical flask. 200 mL of distilled water was added on it. This mixture was heated on magnetic stirrer at 100 °C for 2 hours. After this process, the mixture could come to room temperature and filtered with Whatman filter paper (Grade 1). The filtrate was stored in a refrigerator at +4 °C until it was used in nanoparticle synthesis (Rao et al., 2015).

### Green Synthesis of Silver Nanoparticles

20 mL of silver nitrate solution (10 mM) was added to the beaker. 20 mL of *Elaeagnus angustifolia* fruit aqueous extract was added drop by drop with the help of a pasteur pipette and kept in an ultrasonic bath for 10 minutes. The reaction mixture was exposed to 360W microwave rays for 5 minutes. The mixture in the beaker was transferred to falcon tubes and centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes. Since the supernatant was seen to be clear, it was concluded that the particulate precipitation was complete. The pellet part containing the precipitated particles was washed 3 times with cold ethanol in order to remove organic residues from the extract. After the falcon tube was centrifuged again at 4000 rpm for 10 minutes, the pellet part was collected and left to dry overnight in a 100 °C oven. The obtained silver nanoparticles were stored in eppendorf tubes at room temperature to be used in characterization and cytotoxicity experiments (Joseph and Mathew, 2015; Haris et al., 2017).

### Characterization of Silver Nanoparticles

The UV-Vis spectrum of the synthesized silver nanoparticles was taken with an Ultraviolet visible (UV-Vis) spectrophotometer (Thermo Scientific Multiscan Spectrum 1500) in the range of 200-800 nm. Functional group analysis of silver nanoparticles was performed by making measurements in the range of 400-4000 cm<sup>-1</sup> with a Fourier-transform infrared (FT-IR) spectrophotometer (Shimadzu IR 8000). The structural properties and surface morphological properties of the nanoparticles were determined by examining the micrographs taken from the scanning electron microscope (SEM) (LEO 1430 VP). In addition, elemental composition

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.915005

analyses of silver nanoparticles were analyzed by Energy Dispersion X-Ray (EDX) spectroscopy (LEO 1430 VP). To obtain SEM image and EDX analysis; the sample of silver nanoparticles were coated with gold under  $4 \times 10^{-2}$  mbar pressure by sputtering technique to make them better conductor. Then, the SEM images were collected at  $1.3 \times 10^{-5}$  pressure. The EDX analysis was recorded by local mapping technique from the best captured image.

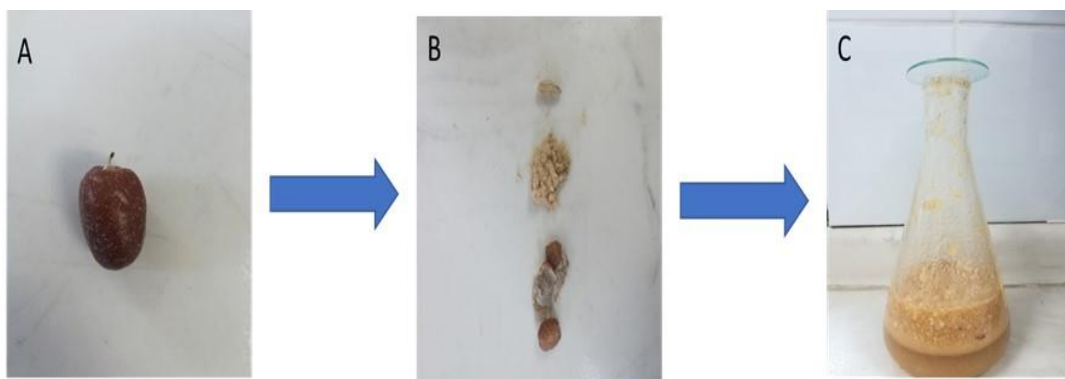
### Cell Culture Studies

In this study, HELA human cervical cancer, PC3 human prostate cancer and L929 mouse fibroblast cells belonging to the American Type Culture Collection were used to determine the cytotoxic effects of the synthesized silver nanoparticles. DMEM medium containing 10% FBS (Sigma F-2442), 2mM L-glutamine (Sigma G-6392), 100 U/mL penicillin and 100  $\mu$ g/mL streptomycin was used for the growth of HELA and L929 cells. PC3 cells were cultured in RPMI-1640 medium containing 10% FBS (Sigma F-2442), 2mM L-glutamine (Sigma G-6392), 100 U/mL penicillin and 100  $\mu$ g/mL streptomycin. Cells extracted from liquid nitrogen were planted in 75 cm<sup>2</sup> flasks and grown in an oven with 5% CO<sub>2</sub> (Core EC-160) at 37°C until the cells became a full layer. When the flask base was filled to 90%, the cells were removed with 0.05% Trypsin-EDTA (Sigma T-4049) and passaged (Cevik et al., 2020).

### MTT measurements

The MTT test is widely used as a fast and sensitive method in evaluating the cytotoxicity of anticancer agents (Wan et al., 1994). The working principle of this method is the disintegration of the tetrazolium ring of the MTT dye into formazan by means of the succinate dehydrogenase enzyme in the intact mitochondria of the cells (Baek et al., 1998). To determine the cytotoxic effect of silver nanoparticles, cells were seeded in 96-well cell culture plates at a density of  $1 \times 10^4$  per well in 100  $\mu$ L medium. In order to adhere the cells to the plate base, incubation was carried out in an oven with 5% CO<sub>2</sub> at 37°C. After adding different concentrations of silver nanoparticles (1, 10, 100, 1000  $\mu$ g/mL) to the cells, the plate was re-incubated for 24 hours. The medium from the wells was discarded and 100  $\mu$ L of fresh medium was added to each well. 10  $\mu$ L of the previously prepared MTT dye was added to all wells. After the cells were incubated for 4 hours, the medium was decanted and 100  $\mu$ L of dimethyl sulfoxide was added to each well to dissolve the formazan dye formed. The intensity of the formed color was measured at 570 nm in a microplate reader (Biotek Co., USA). Cell viability % was calculated with the aid of equation 1 and IC<sub>50</sub> values using GraphPad Prism program (Cevik et al., 2018).

% Cell viability = (OD test sample)/(OD control) X 100  
 (Eq. 1)



**Figure 1:** A) *Elaeagnus angustifolia* fruit. B) The part of *Elaeagnus angustifolia* fruit. C) The preparation of *Elaeagnus angustifolia* fruit aqueous extract

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.915005

### Statistical analysis

Data from three independent experiments are presented as mean  $\pm$  SD. Differences between groups were analyzed by student's t test. Statistical analysis was performed using GraphPad Prism version 5.0 software. Statistical significance is defined as follows: \*,  $p \leq 0.05$ ; \*\*,  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*,  $p \leq 0.001$ .

## RESULTS AND DISCUSSION

### Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles

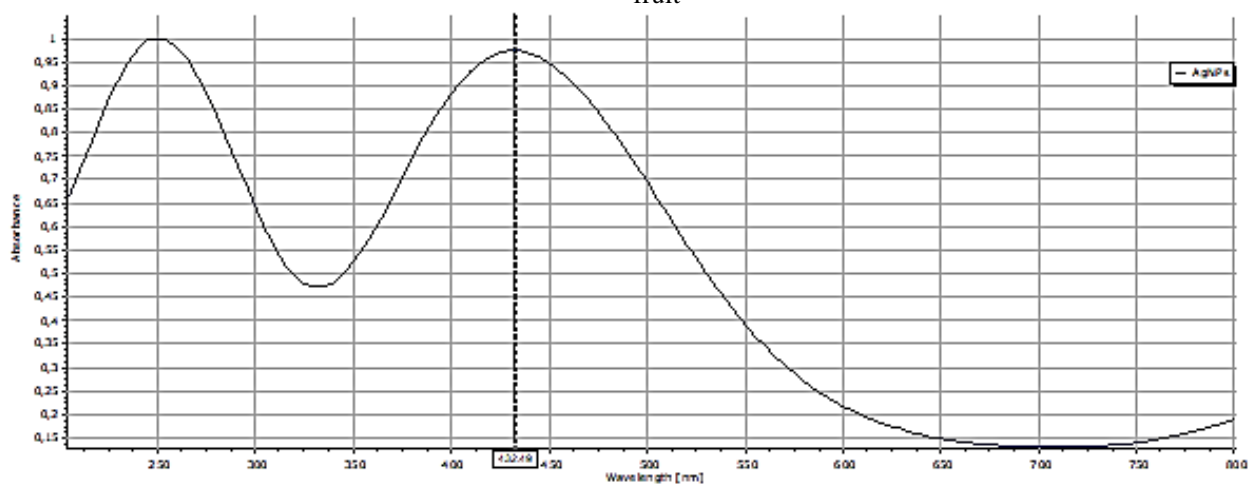
The use of green synthesis, which is a nature and life-friendly method that does not require the use of toxic chemicals in the synthesis of nanoparticles, has become a popular field of study (Ong et al., 2013).

In this study, silver nanoparticles were synthesized from green synthesis using *Elaeagnus angustifolia* fruit aqueous extract. Thus, a more advantageous method was preferred in terms of cost, time, environment, and health. In the characterization and structural analysis of silver nanoparticles, various analytical methods such as ultraviolet-visible region (UV-Vis) spectroscopy, fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy,

scanning electron microscopy (SEM), energy dispersion X-ray (EDX) spectroscopy and elemental analysis are used.

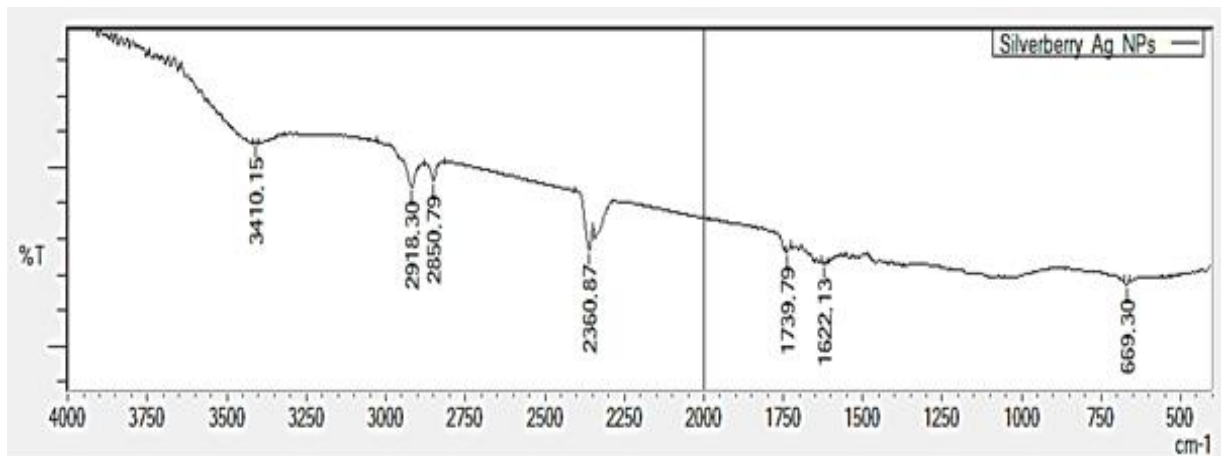
Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-Vis) is one of the most important methods used in the characterization of silver nanoparticles. The most important indicator confirming the synthesis of silver nanoparticles is the color of the solution that turns brown during the reaction. This color formation is due to the surface plasmon resonance of the silver nanoparticles (Darroidi et al., 2010). The increase in absorbance between 420-470 nm in the UV spectrum is due to the surface plasmon resonance of silver nanoparticles (Bhui et al., 2009). Nahar et al. (2021) stated that the maximum absorbance at 442 nm wavelength was observed in the UV spectrum of silver nanoparticles synthesized with Citrus sinensis extract. When looking at the UV graph of silver nanoparticles synthesized with the aqueous extract of the silverberry fruit,  $\lambda_{max}$  was obtained at 432 nm (Figure 2). On the other hand, the appearance peak at the about 250 nm is probably comes from the presence heteroatoms such as N, O (Njoku et al., 2013).

**Figure 2:** UV-Vis spectrum of silver nanoparticles synthesized with aqueous extract of *Elaeagnus angustifolia* fruit



In the green synthesis of silver nanoparticles, the bio-reducing agents contained in the extracts are adsorbed on the surface of the nanoparticles. Functional group analysis of these biocomponents on the surface of nanoparticles is determined by

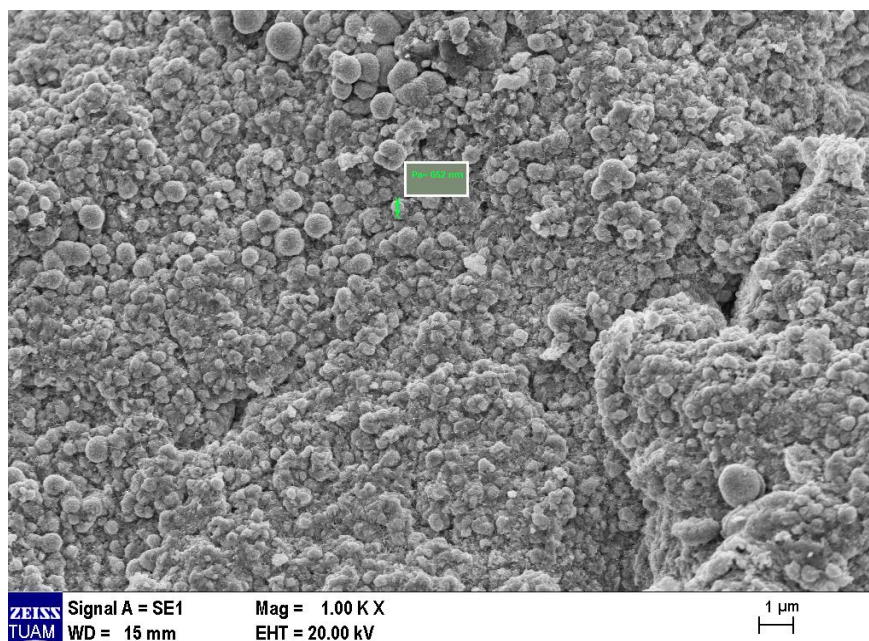
FTIR spectroscopy. When the FTIR spectrum of the silver nanoparticles synthesized with the aqueous extract of the silverberry is examined, bands are seen at 3410, 2918, 2850, 2360, 1739, 1622 and 669  $\text{cm}^{-1}$  (Figure 3).



**Figure 3:** FTIR spectrum of silver nanoparticles synthesized with aqueous extract of *Elaeagnus angustifolia* fruit

The broad band at  $3410\text{ cm}^{-1}$  belongs to the O-H stretch. The peak at  $2360\text{ cm}^{-1}$  is due to atmospheric carbon dioxide. The peak at  $669\text{ cm}^{-1}$  is the vibrations of silver (Banerjee and Nath, 2015; Balashanmugan and Kalaichelvan, 2015).

Morphological properties of silver nanoparticles are examined by scanning electron microscopy. When the SEM micrograph of the silver nanoparticles is examined (Figure 4), nano-sized particles are seen, most of which are spherical and



**Figure 4:** SEM micrograph of silver nanoparticles synthesized with the *Elaeagnus angustifolia* fruit aqueous extract

some of them irregularly shaped. It has also been determined that these nanoparticles form micron-sized aggregates. The approximate sizes of nanoparticles were found to be 652 nm.

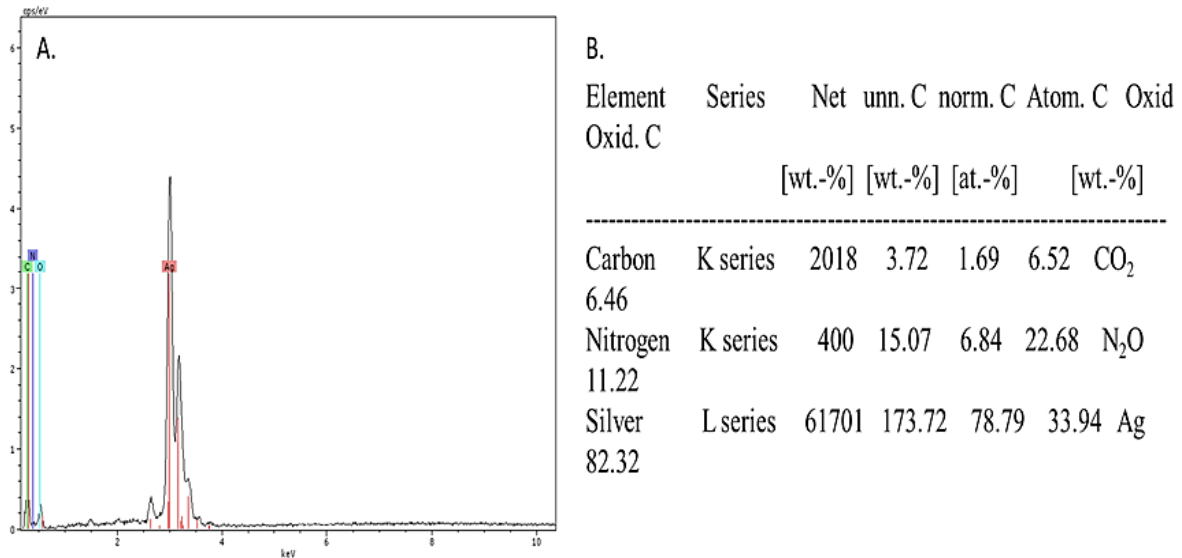
Energy dispersion X-Ray crystallography is an analytical method used to determine the elemental composition of silver nanoparticles. In the EDX spectrum, the peak around 3 keV confirms the presence of silver (Govarthanan et al., 2014). When



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.915005

the EDX spectrum of the synthesized nanoparticle is examined (Figure 5A), the peak around 3 keV, supports the synthesis of silver nanoparticles. The abundance of silver atom was found to be 82.32%.

Other contaminants such as carbon and nitrogen probably were caused by *Elaeagnus angustifolia* residues (Figure 5B).



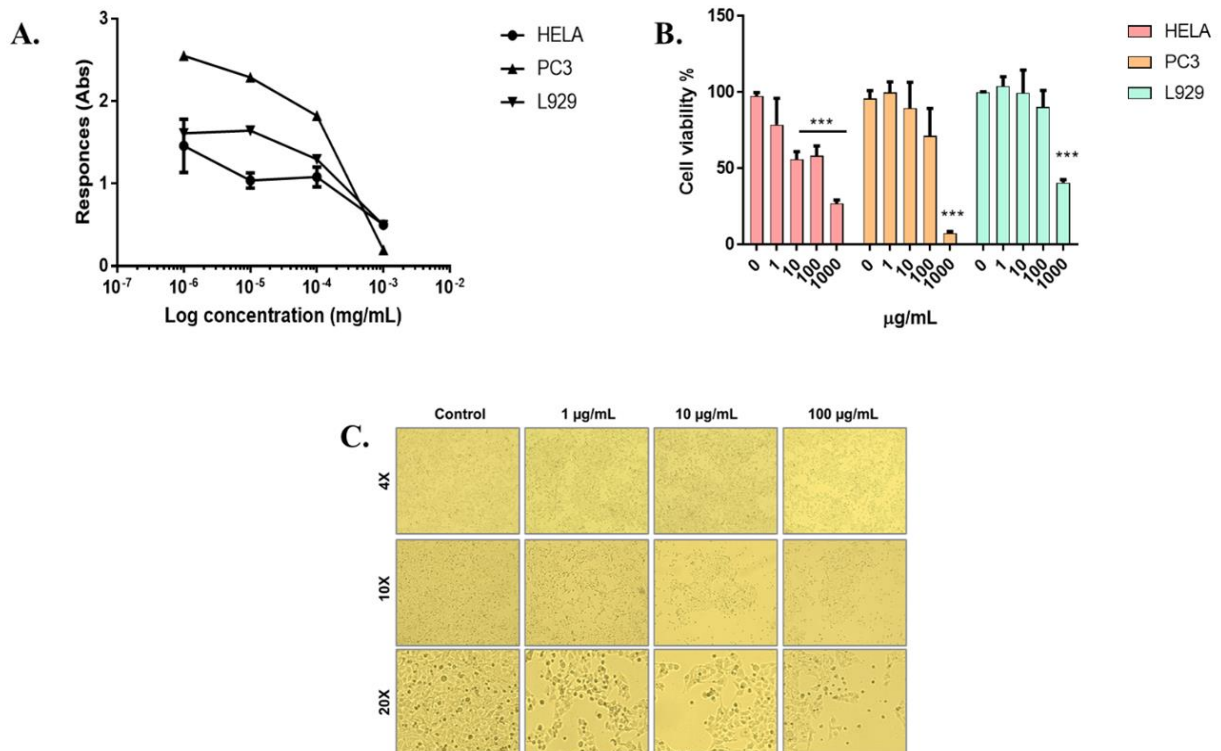
**Figure 5:** A) EDX spectrum of silver nanoparticles synthesized with *Elaeagnus Angustifolia* fruit aqueous extract. B) Elemental analysis results

**Cytotoxic Effects of Silver Nanoparticles**

Cancer is a health problem that is difficult to treat and has a high mortality compared to other diseases. Current chemotherapeutic drugs such as cisplatin, doxorubicin, taxol and bleomycin bring some adverse conditions such as low specificity, high cost, high toxicity, undesirable side effects and drug resistance. Development of new treatment methods becomes necessary to overcome these disadvantages (Erdoğan, 2018; Wafa and Ghareib, 2018). Scientific research on the synthesis, characterization, stability, formulation and delivery of nanoparticles as cytotoxic agent and drug delivery system in cancer treatment continues intensively.

It has been reported that silver nanoparticles synthesized by green synthesis have better cytotoxic effects than chemically synthesized ones. It is thought that this effect is due to the biocomponents contained in the biological material used in the synthesis (Kummara et al., 2016). For this reason,

the cytotoxic effects of silver nanoparticles synthesized with different plant extracts are investigated on various cell lines. Selvan et al. (2018) investigated the cytotoxic effects of silver nanoparticles synthesized with carnelia sinensis extract on MCF7, HELA, HepG2, A549 and NHDF cells. They found the IC50 values of silver nanoparticles on these cells as 19.94, 16.75, 27.63, 13.26 and >100, respectively. In our study, cytotoxic effects of silver nanoparticles synthesized with the aqueous fruit extract of *Elaeagnus angustifolia* were investigated on HELA and PC3 as cancerous cells and on L929 as normal mouse fibroblast cells. IC50 value of a potential chemotherapeutic agent is expected to be low in cancer cells and high in normal cells (Damiani et al., 2019). IC50 values of silver nanoparticles for HELA, PC3 and L929 cells were calculated as 11.8, 18.8 and 13.6 µg/mL, respectively (Figure 6A).



**Figure 6:** A) IC50 plots of HELA, PC3 and L929 cells treated with silver nanoparticles. B) Cell viability graphs of HELA, PC3 and L929 cells treated with silver nanoparticles. C) Inverted microscope images of HELA cervical cancer cells treated with silver nanoparticles

These results clearly show that the IC50 value of the silver nanoparticle synthesized with *Elaeagnus angustifolia* is lower compared to other studies. Bioactive compounds from *Elaeagnus angustifolia* may have increased the cytotoxic activity of silver nanoparticles. When the cell viability graph was examined (Figure 6B), it was found that silver nanoparticles decreased the proliferation of PC3 and L929 cells in a dose-dependent manner. Especially, 1000 µg/mL dose reduced the viability of PC3 prostate cancer cells up to 10%. The IC50 value of silver nanoparticles was found to be the lowest in HELA cells. Therefore, the morphological effects of these nanoparticles on HELA cervical cancer cells were examined with images taken at 4X, 10X and 20X magnification (Figure 6C). HELA cells treated with 100 µg/mL silver nanoparticles were found to exhibit apoptotic markers such as cell size reduction and bubbling in the plasma membrane.

## CONCLUSION

The use of nanotechnological metal atoms both as cytotoxic agents and as a carrier system in cancer treatment is increasing day by day. With this study, silver nanoparticles were synthesized with green synthesis, which is a time-saving, less costly, environmentally friendly and more easily applicable method. In addition, these biogenic silver nanoparticles have the potential to be used as an anticancer agent in the treatment of cervical and prostate cancer due to their cytotoxic effect on HELA and PC3 cells.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Adnan Menderes University Research Grant (ADU-MARL-18001, ADU TPF-19037).

## CONFLICT OF INTEREST

The Author report no conflict of interest relevant to this article

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.915005

## RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

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

## REFERENCES

- Ahmadiani, A., Hosseiny, J., Semnani, S., Javan, M., Saeedi, F. ... Saremi, S. (2000). Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Elaeagnus angustifolia* fruit extract. *Journal of Ethnopharmacology*, (1-2), 287-92.
- Azez, R.A., Abaas, I.S. and Kadhim, E.J. (2018). Isolation and characterization of  $\beta$ -sitosterol from *elaegnus angustifolia* cultivated in Iraq. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 11(11), 442-446.
- Baek, S.H., Kim, Y.O., Kwag, J.S., Choi, K.E., Jung, W.Y. and Han, D.S. (1998). Boron trifluoride etherate on silica-A modified Lewis acid reagent (VII). Antitumor activity of cannabigerol against human oral epitheloid carcinoma cells. *Archives of Pharmacal Research*, 21(3), 353-356.
- Balashanmugam, P. and Kalaichelvan, P.T. (2015). Biosynthesis characterization of silver nanoparticles using *Cassia roxburghii* DC. Aqueous extract and coated on cotton cloth for effective antibacterial activity. *International Journal of Nanomedicine*, 10(1), 87-97.
- Banerjee, P. and Nath, D. (2015). A Phytochemical Approach to Synthesize Silver Nanoparticles for Non-Toxic Biomedical Application and Study on their Antibacterial Efficacy. *Nanoscience & Technology*, 2(1), 1-14.
- Baran MF. (2019). *Prunus avium* kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 10(1), 221-227.
- Beykaya, M. and Çağlar, A. (2016). Bitkisel Özütlere Kullanılarak Gümüş-Nanopartikül (AgNP) Sentezlenmesi ve Antimikrobiyal Etkinlikleri Üzerine Bir Araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 631-641.
- Bhui, D.K., Bar, H., Sarkar, P., Sahoo, G.P., Prasad De S. and Misra, A. (2009). Synthesis and UV-vis spectroscopic study of silver nanoparticles in aqueous SDS solution. *Journal of Molecular Liquids*, 145(1), 33-37.
- Cevik, O., Acidereli, H., Turut, F.A., Yildirim, S. and Acilan, C. (2020). Cabazitaxel exhibits more favorable molecular changes compared to other taxanes in androgen-independent prostate cancer cells. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 34(9), e22542.
- Cevik, O., Turut, F.A., Acidereli, H. and Yildirim, S. (2018). Cyclosporine-A induces apoptosis in human prostate cancer cells PC3 and DU145 via downregulation of COX-2 and upregulation of TGF $\beta$ . *Turkish Journal of Biochemistry*, 44(1), 47-54.
- Damiani, E., Solorio, J.A., Doyle, A.P. and Wallace, H.M. (2019). How reliable are in vitro IC50 values? Values vary with cytotoxicity assays in human glioblastoma cells. *Toxicology Letters*, 302, 28-34.
- Darroidi, M., Ahmad, M.B., Abdullah, A.H., Ibrahim, N.A. and Shameli, K. (2010). Effect of Accelerator in Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *International Journal of Molecular Science*, 11(10), 3898-3905.
- Erdoğan, O., Birtekocak, F., Oryaşın, E., Abbak, M., Demirbolat, G.M. ... Çevik Ö. (2019). Enginar Yaprağı Sulu Ekstraktı Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Karakterizasyonu, Anti-Bakteriyel ve Sitotoksik Etkileri. *Düzce Tıp Fakültesi Dergisi*, 21(1), 19-26.
- Erdoğan, Ö. (2018). Aminoasit temelli amitlerin sentezlenmesi ve bu bileşiklerin HELA serviks kanser hücreleri üzerinde antikanser etkilerinin incelenmesi. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Govarthanan, M., Selvankumar, T., Manoharan, K., Rathika, R., Shanthi, K. ... Oh B.T. (2014). Biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using panchakavya, an Indian traditional farming formulating agent. *Int J Nanomedicine*, 9, 1593-1599.
- Gurbuz, I., Ustun, O., Yesilada, E., Sezik, E. and Kutsal, O. (2003). Anti-ulcerogenic activity of some plants used as folk remedy in Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 88(1), 93-97.
- Haris, M., Kumar, A., Ahmad, A., Abuzinadah, F., Basheikh, M. ... Mujeeb, M. (2017). Microwave-assisted green synthesis and antimicrobial activity of silver nanoparticles derived from a supercritical carbon dioxide extract of the fresh aerial parts of *Phyllanthus niruri* L. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(12), 2967-2976.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.915005

- Hassanpour, S.H. and Dehghani, M. (2017). Review of cancer from perspective of molecular. *Journal of Cancer Research and Practise*, 4, 127-129.
- Jeyeraj, M., Sathishkumar, G., Sivanandhan, G., Mubarak, A.D., Rajesh, M. ... Ganapathi, A. (2013). Biogenic silver nanoparticles for cancer treatment: An experimental report. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 106, 86-92.
- Joseph, S. and Mathew, B. (2015). Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles and the study on catalytic activity in the degradation of dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 204, 184-191.
- Kummara, S, Patil, M.B. and Uriah, T. (2016). Synthesis, characterization, biocompatible and anticancer activity of green and chemically synthesized silver nanoparticles – A comparative study. *iomedicine & Pharmacotherapy*, 84, 10–21.
- Mohammed, S.S.S., Lawrence, A.V., Sampath, S., Sunderam, V. and Madhavan, Y. (2020). Facile green synthesis of silver nanoparticles from sprouted Zingiberaceae species: Spectral characterisation and its potential biological applications. *Materials Technology*, 1, 1-15.
- Nahar, K., Rahaman, H., Khan, A., Islam, K. and Al-Reza, S. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles from Citrus sinensis peel extract and its antibacterial potential. *Asian Journal of Green Chemistry*, 5, 135-150.
- Natanzi, M.M., Pasalar, P., Kamalinejad, M., Dehpour, A.R., Taganvar, S.Y. ... Nejad, S.G. (2012). Effect of Aqueous Extract of *Elaeagnus angustifolia* Fruit on Experimental Cutaneous Wound Healing in Rats. *Acta Medica Iranica*, 50(9), 589-596.
- Njoku, D.I., Chidiebere, M.A., Oguzie, K.L., Ogukwe, C.E. and Oguzie, E.E. (2013). Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by the leaf extract of *Nicotiana tabacum*. *Advances in Materials and Corrosion*. 1, 54-61.
- Ong, C., Lim, J.Z.Z., Ng, C.T., Li, J.J., Yung, L.Y.L. and Bay, B.H. (2013). Silver Nanoparticles in Cancer: Therapeutic Efficacy and Toxicity. *Current Medicinal Chemistry*, 20(6), 772-781.
- Öztürk, B.Y. and Öztürk, D. (2020). Tilia rubra DC. ekstraktı kullanılarak gümüş nanopartikülün hücre dışı biyosentezi ve antifungal aktivitesi. *Biyoçeşitlilik ve Koruma*, 13(3), 244-251.
- Prabhu, S. and Poulouse, E.K. (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*, 2(32), 1-10.
- Rao, K.G., Ashok, C.H., Rao, K.V., Chakra, C.H.S. and Akshaykranth, A. (2015). Eco-friendly synthesis of MgO nanoparticles from orange fruit waste. *International Journal of Applied Physics and Science*, 2(3), 1-6.
- Rasekhi, H.R., Kamali, M., Hosseini, S.M. and Fallahi, M. (1999). Wound healing properties of *Elaeagnus angustifolia*. *Journal of Pharmacology*, 51, 128.
- Selvan, D.A., Mahendiran, D., Kumar, R.S. and Rahiman, A.K. (2018). Garlic, green tea and turmeric extracts-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Phytochemical, antioxidant and in vitro cytotoxicity studies. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 180, 243-252.
- Siegel, R.L., Miller, K.D. and Jemal, A. (2019). Cancer statistics 2019. *Cancer Journal for Clinicians*, 69, 7-34.
- Tepe, H.D. and Doyuk, F. (2020). Determination of Phytochemical Content by Chromatographic Methods and Antioxidant Capacity in Methanolic Extract of Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) and Oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.). *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 1876-1890.
- Wafa, I.A.F. and Ghareib, W.A. (2018). On the anti-cancer activities of silver nanoparticles. *Journal of Applied Biotechnology and Bioengineering*, 5(1), 43-46.
- Wan, H., Williams, R., Doherty, P. and Williams DF. (1994). A study of the reproducibility of the MTT test. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 5, 154-159.
- Wei, L., Lu, J., Xu, H., Patel, A., Chen, Z.S. and Chen, G. (2015). Silver nanoparticles: synthesis, properties, and therapeutic applications. *Drug Discovery Today*, 20(5), 595-601.
- Zhang, H., Chen, S., Jia, X., Huang, Y., Ji, R. and Zhao, L. (2021). Comparison of the phytotoxicity between chemically and green synthesized silver nanoparticles. *Science of The Total Environment*, 752, 1-8.

### Figure Legends

Figure 1: A) *Elaeagnus angustifolia* fruit. B) The part of *Elaeagnus Angustifolia* fruit. C) The preparation of *Elaeagnus Angustifolia* fruit aqueous extract

Figure 2: UV-Vis spectrum of silver nanoparticles synthesized with aqueous extract of *Elaeagnus angustifolia* fruit

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.915005

Figure 3: FTIR spectrum of silver nanoparticles synthesized with aqueous extract of *Elaeagnus angustifolia* fruit

Figure 4: SEM micrograph of silver nanoparticles synthesized with the *Elaeagnus angustifolia* fruit aqueous extract


Figure 5: A) EDX spectrum of silver nanoparticles synthesized with *Elaeagnus Angustifolia* fruit aqueous extract. B) Elemental analysis results

Figure 6: A) IC50 plots of HELA, PC3 and L929 cells treated with silver nanoparticles. B) Cell viability graphs of HELA, PC3 and L929 cells treated with silver nanoparticles. C) Inverted microscope images of HELA cervical cancer cells treated with silver nanoparticles

## Inverse Scattering Problem for Sturm-Liouville Operator with Discontinuity Conditions on the Positive Half Line

**Özge Akçay**

*Munzur University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Tunceli, Turkey*

*ozgeakcay@munzur.edu.tr* 

*Received date:02.04.2021, Accepted date: 08.10.2021*

### Abstract

In this paper, we consider the inverse scattering problem for Sturm-Liouville operator with discontinuity conditions at some point on the positive half line. The scattering data of this boundary value problem is examined. The resolvent operator is constructed and the expansion formula with respect to the eigenfunctions of this boundary value problem is obtained. The main equation or modified Marchenko equation of the inverse scattering problem is derived and an algorithm of the construction of the potential function according to scattering data of this boundary value problem is given.

**Keywords:** Sturm-Liouville equation, discontinuity conditions, inverse scattering problem, main equation

## Pozitif Yarı Eksende Süreksizlik Koşuluna Sahip Sturm-Liouville Operatörünün Ters Saçılma Problemi

**Öz**

Bu çalışmada, pozitif yarı eksen üzerindeki bir noktada süreksizlik koşuluna sahip Sturm-Liouville operatörünün ters saçılma problemi ele alınmıştır. Ele alınan sınır değer probleminin saçılma verileri incelenmiştir. Rezolvent operatörü inşa edilmiş ve sınır değer probleminin özfonksiyonlarına göre ayrışım formülü elde edilmiştir. Ters saçılma probleminin temel denklemi veya modifiye edilmiş Marchenko denklemi elde edilmiş ve sınır değer probleminin saçılma verilerine göre potansiyel fonksiyonun inşa edilme algoritması verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sturm-Liouville denklemi, süreksizlik koşulları, ters saçılma problemi, temel denklem

### INTRODUCTION

In physical and mathematical literature, there are numerous studies based on scattering theory because of its applications in the quantum mechanics (see Chadan and Sabatier, 1977; Faddeev and Takhtajan, 2007; Jaluent and Jean, 1976 and the references therein) and the investigations on this subject have been continued in detail. It is well known in quantum mechanics that the scattering of particles by a potential field is completely determined by the asymptotic form of the wave functions at infinity. Therefore, the following question arises: is it possible to reconstruct the potential from a knowledge of the asymptotic form of the wave functions at infinity? and then, if it is possible, to indicate a method for constructing the potential. This is known as the inverse problem of scattering theory. The mathematical side of this

question is comprehensively studied and formalized in (Agranovich and Marchenko, 1963) and (Marchenko, 2011).

In this paper, we will solve the inverse scattering problem of Sturm-Liouville operator with discontinuity conditions at some point on positive half line by using the method of Marchenko. Then, consider the Sturm-Liouville equation (or equivalently the time-independent one-dimensional Schrödinger equation)

$$-y'' + q(x)y = \lambda^2, \quad 0 < x < \infty \quad (1)$$

with boundary conditions

$$y'(0) - hy(0) = 0 \quad (2)$$

and discontinuity conditions at the point  $a \in (0, \infty)$

$$\begin{aligned} y(a-0) &= \alpha y(a+0), \\ y'(a-0) &= \alpha^{-1} y'(a+0) \end{aligned} \quad (3)$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.908009

where  $1 \neq \alpha > 0$ ,  $h$  is an arbitrary real number,  $q(x)$  is a real function satisfying the condition

$$\int_0^\infty x|q(x)|dx < \infty. \quad (4)$$

In case of  $\alpha = 1$  i.e. in classical case, the inverse scattering problem of the boundary value problem (1)-(3) was completely solved by Marchenko (1955; 2011) and Levitan (1975; 1987). The inverse scattering problem for the discontinuous case on the positive half line was firstly studied by Gasymov (1977) and Darwish (1994) and also Guseynov and Pashaev (2002) solved the inverse discontinuous scattering problem by using the new integral representation (non-triangular) which was obtained for the Jost solution of the Sturm-Liouville equation with discontinuous coefficient. Then, the direct and inverse scattering problems for discontinuous Sturm-Liouville equation under different boundary conditions were examined with the help of this integral representation in (Çöl, 2015; El-Raheem and Salama, 2015; Mamedov, 2010; Mamedov and Cetinkaya, 2015; Mızrak, Mamedov and Akhtyamov, 2017). Inverse problem for a wave equation with piecewise constant coefficient was worked in (Lavrent'ev Jr, 1992). In case of the Sturm-Liouville equation with discontinuity conditions (or transmission conditions) at a point on the positive half line, the direct and inverse scattering problem with various boundary conditions and discontinuity conditions were investigated in (Huseynov and Osmanova, 2007; Huseynov and Osmanli, 2009; Huseynov and Mammadova, 2013; Manafov and Kablan, 2013). Moreover, the direct and inverse scattering problem for Sturm-Liouville operator with nonlinear spectral parameter in the boundary conditions were studied in (Goktas and Mamedov, 2020; Mamedov, 2009; Mamedov and Kosar, 2010; Mamedov and Kosar, 2011).

In summary, the results obtained in this paper can be given as follows: firstly, the scattering data of the boundary value problem (1)-(3) are examined. Secondly, the resolvent operator is constructed and the eigenfunction expansion formula is obtained. Finally, we examine the inverse scattering problem that can be stated in the following way: determine a method of constructing the potential  $q(x)$  from the scattering data of the boundary value problem (1)-(3). Therefore, the main equation of the inverse problem is derived and an algorithm for the construction of the potential function  $q(x)$  according to scattering data is given.

## MATERIAL AND METHODS

To solve this inverse scattering problem, we use the method of Marchenko, in this method, the transformation operator is used and the central role is played by the main equation with respect to the kernel of the transformation operator. However, due to the discontinuity conditions (3), the integral representation (not transformation operator) obtained in (Huseynov and Osmanova, 2007) is used and so, the main equation of the problem (1)-(3) is different from the classical main equation or Marchenko equation. Hereby, we must specify that the existence of discontinuity conditions (3) in the boundary value problem (1)-(3) strongly influences the structure of the representation of the Jost solution and the main equation of the inverse scattering problem.

Now, we give the integral representation of the Jost solution of the equation (1) with discontinuity conditions (3) obtained in (Huseynov and Osmanova, 2007):

For all  $\lambda$  from the upper half-plane, the equation (1) satisfying the conditions (3) and (4) has the Jost solution  $e(x, \lambda)$  that can be represented in the form

$$e(x, \lambda) = e_0(x, \lambda) + \int_x^\infty K(x, t)e^{i\lambda t} dt \quad (5)$$

where

$$e_0(x, \lambda) = \begin{cases} e^{i\lambda x}, & x > a, \\ \alpha^+ e^{i\lambda x} + \alpha^- e^{i\lambda(2a-x)}, & 0 < x < a \end{cases}$$

$$\alpha^\pm = \frac{1}{2} \left( \alpha \pm \frac{1}{\alpha} \right), \text{ for each fixed } x \in (0, a) \cup (a, \infty)$$

the kernel  $K(x, \cdot)$  belongs to the space  $L_1(x, \infty)$  and satisfies the following properties:

$$K(x, x) = \frac{\alpha^+}{2} \int_x^\infty q(t) dt, \quad x \in (0, a) \quad (6)$$

$$K(x, x) = \frac{1}{2} \int_x^\infty q(t) dt, \quad x \in (a, \infty) \quad (7)$$

$$K(x, 2a - x + 0) - K(x, 2a - x - 0) = \frac{\alpha^-}{2} \left( \int_a^\infty q(t) dt - \int_x^a q(t) dt \right), \quad x \in (0, a). \quad (8)$$

It is seen from this representation that the triangular property of Jost solution representation is lost and the kernel function has a discontinuity along the line  $t = 2a - x$  for  $x \in (0, a)$ .

The solution  $e(x, \lambda)$  is regular with respect to  $\lambda$  in the upper half plane  $Im\lambda > 0$  and continuous for  $Im\lambda \geq 0$ . For real  $\lambda \neq 0$ , the function  $e(x, \lambda)$  and  $\overline{e(x, \lambda)}$  form a fundamental system of solutions of equation (1) with discontinuity conditions (3) and their Wronskian is as follows:

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.908009

$$W \{e(x, \lambda), \overline{e(x, \lambda)}\} = e'(x, \lambda)\overline{e(x, \lambda)} - e(x, \lambda)\overline{e'(x, \lambda)} = 2i\lambda. \quad (9)$$

Let  $\phi(x, \lambda)$  be the solution of the equation (1) with discontinuity conditions (3) under the initial conditions

$$\phi(0, \lambda) = 1, \quad \phi'(0, \lambda) = h.$$

## RESULTS AND DISCUSSION

### Scattering Data

**Lemma 1.** The following identity holds for all real  $\lambda \neq 0$ :

$$\frac{2i\lambda\phi(x, \lambda)}{e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)} = \overline{e(x, \lambda)} - S_h(\lambda)e(x, \lambda) \quad (10)$$

where

$$S_h(\lambda) = \frac{e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)}{e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)} \quad (11)$$

and  $S_h(\lambda) = \overline{S_h(-\lambda)} = [S_h(-\lambda)]^{-1}$ .

**Proof.** Since the functions  $e(x, \lambda)$  and  $\overline{e(x, \lambda)}$  form a fundamental system of solutions of the equation (1) with the condition (3) for all real  $\lambda \neq 0$ , we obtain

$$\phi(x, \lambda) = \frac{1}{2i\lambda} \left\{ [e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)]\overline{e(x, \lambda)} - [e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)]e(x, \lambda) \right\}. \quad (12)$$

Now, let us show that  $\omega(\lambda) := e'(0, \lambda) - he(0, \lambda) \neq 0$  for all real  $\lambda \neq 0$ . Assume that

$$\omega(\tilde{\lambda}) := e'(0, \tilde{\lambda}) - he(0, \tilde{\lambda}) = 0.$$

According to (9), we get

$$e'(0, \tilde{\lambda})\overline{e(0, \tilde{\lambda})} - e(0, \tilde{\lambda})\overline{e'(0, \tilde{\lambda})} = 2i\tilde{\lambda}.$$

Then, it follows from the last two equality that  $\tilde{\lambda} = 0$ , but this contradicts  $\tilde{\lambda} \neq 0$ . Thus, we have  $\omega(\lambda) = e'(0, \lambda) - he(0, \lambda) \neq 0$  for real  $\lambda \neq 0$ . Taking into account this in the equality (12), we find (10) and (11) as claimed. The lemma is proved.

**Definition 2.** The function  $S_h(\lambda)$  expressed by the formula (11) is called the *scattering function* of the problem (1)-(3).

Now, we will examine the zeros of the function  $\omega(\lambda)$ .

**Lemma 3.** The function  $\omega(\lambda)$  may have only a finite number of zeros in the half plane  $Im\lambda > 0$  and these zeros lie on the imaginary axis.

**Proof.** Since  $\omega(\lambda) \neq 0$  for all real  $\lambda \neq 0$ , the point  $\lambda = 0$  can be the only possible real zero of the

function  $\omega(\lambda)$ . The function  $\omega(\lambda)$  is analytic in the upper half plane. Therefore, taking into account this fact and the representation of the solution (5), it is obtained that the zeros of the function  $\omega(\lambda)$  form bounded and at most countable set whose unique limit point may be only a zero.

Now, let us prove that all zeros of the function  $\omega(\lambda)$  lie on the imaginary axis. Assume that  $\tau_1$  and  $\tau_2$  are two zeros of the function  $\omega(\lambda)$ . Then,

$$\omega(\tau_i) = e'(0, \tau_i) - he(0, \tau_i) = 0, \quad i = 1, 2. \quad (13)$$

Since the functions  $e(x, \tau_1)$  and  $\overline{e(x, \tau_2)}$  satisfy the equation (1), we can write

$$-e''(x, \tau_1) + q(x)e(x, \tau_1) = \tau_1^2 e(x, \tau_1),$$

$$-e''(x, \tau_2) + q(x)\overline{e(x, \tau_2)} = \tau_2^2 \overline{e(x, \tau_2)},$$

and it follows from these equalities that

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} W \{ \overline{e(x, \tau_2)}, e(x, \tau_1) \} \\ = (\tau_1^2 - \overline{\tau_2}^2) e(x, \tau_1) \overline{e(x, \tau_2)}. \end{aligned}$$

Integrating this equality over the interval  $(0, \infty)$  and then using the discontinuous conditions (3), we find

$$\begin{aligned} (\tau_1^2 - \overline{\tau_2}^2) \int_0^\infty e(x, \tau_1) \overline{e(x, \tau_2)} dx - \\ - W \{ \overline{e(x, \tau_2)}, e(x, \tau_1) \}_{x=0} = 0. \quad (14) \end{aligned}$$

In the second expression of the left hand side of (14), using the relation (13), we have

$$\begin{aligned} W \{ \overline{e(x, \tau_2)}, e(x, \tau_1) \}_{x=0} \\ = e'(0, \tau_1) \overline{e(0, \tau_2)} - e(0, \tau_1) \overline{e'(0, \tau_2)} = 0. \end{aligned}$$

Thus, we obtain

$$(\tau_1^2 - \overline{\tau_2}^2) \int_0^\infty e(x, \tau_1) \overline{e(x, \tau_2)} dx = 0 \quad (15)$$

In particular, when  $\tau_2 = \tau_1$  is chosen,  $\tau_1^2 - \overline{\tau_1}^2 = 0$  or  $\tau_1 = i\lambda_1$ , here  $\lambda_1 \geq 0$ . Consequently, the zeros of the function  $\omega(\lambda)$  can lie on the imaginary axis.

Moreover, the number of the zeros of the functions  $\omega(\lambda)$  is finite and this fact is similarly proved by using the method in (Marchenko, 2011 see Lemma 3.1.6., pp. 186). The lemma is proved.

**Lemma 4.** The zeros of the function  $\omega(\lambda)$  are simple.

**Proof.** Denote

$$\dot{e}(x, \lambda) = \frac{d}{d\lambda} e(x, \lambda), \quad e'(x, \lambda) = \frac{d}{dx} e(x, \lambda).$$

Consider the following equation

$$-e''(x, \lambda) + q(x)e(x, \lambda) = \lambda^2 e(x, \lambda).$$

Differentiating this equation with respect to  $\lambda$ , we get



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.908009

$-\dot{e}''(x, \lambda) + q(x)\dot{e}(x, \lambda) = \lambda^2\dot{e}(x, \lambda) + 2\lambda e(x, \lambda)$ .  
It follows from these two equalities that

$$\frac{d}{dx}W\{e(x, \lambda), \dot{e}(x, \lambda)\} = 2\lambda[e(x, \lambda)]^2.$$

Integrating this over the interval  $(0, \infty)$  and then using the discontinuity conditions (3) and the function  $\omega(\lambda) = e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)$ , we calculate

$$\omega(\lambda)\dot{e}(0, \lambda) - \dot{\omega}(\lambda)e(0, \lambda) + 2\lambda \int_0^\infty [e(x, \lambda)]^2 dx = 0.$$

Let  $\lambda = i\tau$  ( $\tau > 0$ ) be a zero of the function  $\omega(\lambda)$ . Then, we have

$$2i\tau \int_0^\infty |e(x, i\tau)|^2 dx = \dot{\omega}(i\tau)e(0, i\tau).$$

Since  $\int_0^\infty |e(x, i\tau)|^2 dx > 0$ , it is obtained that  $\dot{\omega}(i\tau) \neq 0$  i.e., the zeros of the function  $\omega(\lambda)$  are all simple. The lemma is proved.

Now, let  $i\lambda_k$ , ( $\lambda_k > 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ ) be the zeros of the function  $\omega(\lambda)$  and denote

$$m_k^{-2} := \int_0^\infty |e(x, i\lambda_k)|^2 dx = \frac{\dot{\omega}(i\lambda_k)e(0, i\lambda_k)}{2i\lambda_k}. \tag{16}$$

The numbers  $m_k$  are called the **normalized numbers** of the problem (1)-(3).

**Definition 5.** A collection

$\{S_h(\lambda), (-\infty < \lambda < \infty); \lambda_k; m_k, (k = 1, 2, \dots, n)\}$  is called the **scattering data** of the boundary value problem (1)-(3).

**Eigenfunction Expansion**

The functions

$$u(x, \lambda) = \overline{e(x, \lambda)} - S_h(\lambda)e(x, \lambda), \quad (-\infty < \lambda < \infty), \tag{17}$$

$$u(x, i\lambda_k) = m_k e(x, i\lambda_k), \quad (k = 1, 2, \dots, n) \tag{18}$$

are bounded solutions of the boundary value problem (1)-(3). They form a complete set of normalized eigenfunctions of this problem.

Consider the operator  $L$  with the domain

$$D(L) = \{f(x) \in L_2(0, \infty); f(x), f'(x) \in AC[0, a] \cap AC[a, \infty), l(f) \in L_2(0, \infty) f'(0) - hf(0) = 0, f(a-0) = af(a+0) f'(a-0) = \alpha^{-1}f(a+0)\}$$

where

$$l(f) = -f''(x) + q(x)f(x).$$

Assume that  $\lambda^2$  is not a spectrum point of the operator  $L$ . Then, the resolvent operator  $R_{\lambda^2}(L) = (L - \lambda^2 I)^{-1}$  exists.

**Lemma 6.** The resolvent operator is an integral operator formed by

$$y(x, \lambda) := R_{\lambda^2}(L)f = \int_0^\infty g(x, t, \lambda)f(t)dt \tag{19}$$

with the kernel

$$g(x, t, \lambda) = -\frac{1}{\omega(\lambda)} \begin{cases} e(x, \lambda)\phi(t, \lambda), & t \leq x, \\ e(t, \lambda)\phi(x, \lambda), & x \leq t. \end{cases} \tag{20}$$

**Proof.** Let  $f(x) \in D(L)$  be a finite function at infinity. To obtain the resolvent operator of  $L$ , consider the following boundary value problem

$$\begin{aligned} -y'' + q(x)y &= \lambda^2 y + f(x), \\ y'(0) - hy(0) &= 0, \end{aligned}$$

$y(a-0) = \alpha y(a+0), y'(a-0) = \alpha^{-1}y'(a+0)$ . Seek the solution of this problem as in the form:

$$y(x, \lambda) = c_1(x, \lambda)\phi(x, \lambda) + c_2(x, \lambda)e(x, \lambda),$$

where the functions  $\phi(x, \lambda)$  and  $e(x, \lambda)$  are the solutions of homogeneous problem for  $Im\lambda > 0$ . Consequently, applying the method of variation of parameters, we find (19) and (20).

**Theorem 7.** The eigenfunctions expansion formula of the boundary value problem (1)-(3) is as follows:

$$\begin{aligned} \delta(t-x) &= \sum_{k=1}^n u(x, i\lambda_k)u(t, i\lambda_k) \\ &+ \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty u(x, \lambda)\overline{u(t, \lambda)} d\lambda \end{aligned} \tag{21}$$

where  $\delta(x)$  is a Dirac delta function.

**Proof.** Let  $f(x) \in D(L)$  be a twice continuously differential function and be finite at infinity. Then, for  $Im\lambda > 0$  we can write from (19) and (20) that

$$\begin{aligned} y(x, \lambda) &= \int_0^\infty g(x, t, \lambda)f(t)dt = \\ &= -\frac{1}{\omega(\lambda)} \int_0^x e(x, \lambda)\phi(t, \lambda)f(t)dt \\ &- \frac{1}{\omega(\lambda)} \int_x^\infty e(t, \lambda)\phi(x, \lambda)f(t)dt \\ &= -\frac{e(x, \lambda)}{\lambda^2\omega(\lambda)} \int_0^x [-\phi''(t, \lambda) + q(t)\phi(t, \lambda)]f(t)dt \\ &- \frac{\phi(x, \lambda)}{\lambda^2\omega(\lambda)} \int_x^\infty [-e''(t, \lambda) + q(t)e(t, \lambda)]f(t)dt. \end{aligned}$$

Integrating by parts for both cases  $x < a$  and  $x > a$ , we calculate

$$y(x, \lambda) = -\frac{f(x)}{\lambda^2} + \frac{z(x, \lambda)}{\lambda^2} \tag{22}$$

where

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.908009

$$z(x, \lambda) := \int_0^\infty g(x, t, \lambda)[-f''(t) + q(t)f(t)]dt.$$

Assume that  $\Gamma_R$  denote the positively oriented contour formed by the circle of radius  $R$  and center at zero. Consider  $D_1 = \{z: |z| \leq R, |Imz| \geq \epsilon\}$  and  $D_2 = \{z: |z| \leq R, |Imz| \leq \epsilon\}$ . Denote by  $\Gamma'_{R,\epsilon}$  the positive oriented boundary contour of  $D_1$  and  $\Gamma''_{R,\epsilon}$  the negative oriented boundary contour of  $D_2$ . Then, we can use the properties of the integration as follows:

$$\int_{\Gamma'_{R,\epsilon}} = \int_{\Gamma_R} + \int_{\Gamma''_{R,\epsilon}} \quad (23)$$

Now, multiplying both sides of the expression (22) by  $\frac{\lambda}{2\pi i}$  and then integrating along the contour  $\Gamma_R$  with respect to  $\lambda$ , we get

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma_R} \lambda y(x, \lambda) d\lambda = -\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma_R} \frac{f(x)}{\lambda} d\lambda + Z_R(x), \quad (24)$$

where

$$Z_R(x) := \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma_R} \frac{z(x, \lambda)}{\lambda} d\lambda,$$

and since  $\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \sup_{x \geq 0} |z(x, \lambda)| = 0$  which is obtained from the expressions of the functions  $e(x, \lambda)$ ,  $\phi(x, \lambda)$  and  $\omega(\lambda)$ , we have  $Z_R(x) \rightarrow 0$  uniformly to  $x$  as  $R \rightarrow \infty$ . According to (23), we can write

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma'_{R,\epsilon}} \lambda y(x, \lambda) d\lambda &= \\ &= \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma_R} \lambda y(x, \lambda) d\lambda + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma''_{R,\epsilon}} \lambda y(x, \lambda) d\lambda. \end{aligned} \quad (25)$$

It follows from (24) and (25) that as  $R \rightarrow \infty$  and  $\epsilon \rightarrow 0$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma'_{R,\epsilon}} \lambda y(x, \lambda) d\lambda &= \\ &= -f(x) + \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^\infty \lambda [y(x, \lambda + i0) - y(x, \lambda - i0)] d\lambda. \end{aligned}$$

On the other hand, using the residue theorem, we have

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma'_{R,\epsilon}} \lambda y(x, \lambda) d\lambda &= \\ &= \sum_{k=1}^n Res_{\lambda=i\lambda_k} \lambda y(x, \lambda) + \sum_{k=1}^n Res_{\lambda=-i\lambda_k} \overline{\lambda y(x, \lambda)}. \end{aligned}$$

It is found from the last two relations that

$$\begin{aligned} f(x) &= - \sum_{k=1}^n Res_{\lambda=i\lambda_k} \lambda y(x, \lambda) \\ &\quad - \sum_{k=1}^n Res_{\lambda=-i\lambda_k} \overline{\lambda y(x, \lambda)} \\ &\quad + \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^\infty \lambda [y(x, \lambda + i0) - y(x, \lambda - i0)] d\lambda. \end{aligned} \quad (26)$$

Next, let us examine the right hand side of the equation (26). Denote by  $\psi(x, \lambda)$  the solution of equation (1) with the discontinuity conditions (3) satisfying the initial conditions

$$\psi(0, \lambda) = 0, \quad \psi'(0, \lambda) = -1.$$

Moreover,  $W\{\phi(x, \lambda), \psi(x, \lambda)\} = 1$ . Therefore, we have

$$e(x, \lambda) = e(0, \lambda)\phi(x, \lambda) - \omega(\lambda)\psi(x, \lambda). \quad (27)$$

Using the expression (20) and (27), we can write for  $t \leq x$

$$g(x, t, \lambda) = -\frac{e(0, \lambda)}{\omega(\lambda)} \phi(x, \lambda)\phi(t, \lambda) + \psi(x, \lambda)\phi(t, \lambda),$$

for  $x \leq t$

$$g(x, t, \lambda) = -\frac{e(0, \lambda)}{\omega(\lambda)} \phi(x, \lambda)\phi(t, \lambda) + \phi(x, \lambda)\psi(t, \lambda)$$

and for  $Im\lambda > 0$ , we have

$$\begin{aligned} y(x, \lambda) &= -\frac{e(0, \lambda)}{\omega(\lambda)} \int_0^\infty \phi(x, \lambda)\phi(t, \lambda)f(t)dt + \\ &\quad + \int_0^x \psi(x, \lambda)\phi(t, \lambda)f(t)dt + \\ &\quad + \int_x^\infty \phi(x, \lambda)\psi(t, \lambda)f(t)dt. \end{aligned}$$

Then, it is obtained from this expression that

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n Res_{\lambda=i\lambda_k} \lambda y(x, \lambda) + \sum_{k=1}^n Res_{\lambda=-i\lambda_k} \overline{\lambda y(x, \lambda)} &= \\ &= \sum_{k=1}^n \frac{-2i\lambda_k e(0, i\lambda_k)}{\omega(i\lambda_k)} \int_0^\infty \phi(x, i\lambda_k)\phi(t, i\lambda_k)f(t)dt. \end{aligned} \quad (28)$$

Now, taking into account the relation  $y(x, \lambda - i0) = \overline{y(x, \lambda + i0)}$ , we find

$$\begin{aligned} y(x, \lambda + i0) - \overline{y(x, \lambda + i0)} &= \\ &= \int_0^x \left[ -\frac{e(x, \lambda)}{\omega(\lambda)} + \frac{\overline{e(x, \lambda)}}{\overline{\omega(\lambda)}} \right] \phi(t, \lambda)f(t)dt + \\ &\quad + \int_x^\infty \phi(x, \lambda) \left[ -\frac{e(t, \lambda)}{\omega(\lambda)} + \frac{\overline{e(t, \lambda)}}{\overline{\omega(\lambda)}} \right] f(t)dt \end{aligned}$$

and using (27) in this expression, we get

$$y(x, \lambda + i0) - \overline{y(x, \lambda + i0)} =$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.908009

$$= \frac{2i\lambda}{|\omega(\lambda)|^2} \int_0^\infty \phi(x, \lambda)\phi(t, \lambda)f(t)dt.$$

Thus, it follows from the last equality that

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^\infty \lambda [y(x, \lambda + i0) - y(x, \lambda - i0)]d\lambda = \\ & = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\lambda^2}{|\omega(\lambda)|^2} \phi(x, \lambda) \int_0^\infty \phi(t, \lambda) f(t) dt d\lambda. \end{aligned} \tag{29}$$

Consequently, substituting (28) and (29) into (26), we calculate

$$\begin{aligned} f(x) &= \\ &= \sum_{k=1}^n \frac{2i\lambda_k e(0, i\lambda_k)}{\dot{\omega}(i\lambda_k)} \int_0^\infty \phi(x, i\lambda_k)\phi(t, i\lambda_k)f(t)dt \\ &+ \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\lambda^2}{|\omega(\lambda)|^2} \phi(x, \lambda) \int_0^\infty \phi(t, \lambda) f(t) dt d\lambda. \end{aligned}$$

Moreover, in the last expression considering  $e(x, \lambda) = e(0, \lambda)\phi(x, \lambda)$ , (16), (17) and (18), the eigenfunction expansion formula (21) is obtained. The theorem is proved.

### Inverse Scattering Problem

In this section, we will reconstruct the potential  $q(x)$  by scattering data of the boundary value problem (1)-(3). The problem (1)-(3) has bounded solutions (17) and (18) and as  $x \rightarrow \infty$ , the following asymptotic formulas are satisfied:

$$\begin{aligned} u(x, \lambda) &= e^{-i\lambda x} - S_h(\lambda)e^{i\lambda x} + o(1), \quad (-\infty < \lambda < \infty) \\ u(x, i\lambda_k) &= m_k e^{-\lambda_k x} (1 + o(1)), \quad (k = 1, 2, \dots, n). \end{aligned}$$

Then, it must be specified that the scattering data

$\{S_h(\lambda), (-\infty < \lambda < \infty); \lambda_k; m_k, (k = 1, 2, \dots, n)\}$  provides a complete description of the behavior at infinity of the normed eigenfunctions  $u(x, \lambda)$  of the problem (1)-(3).

When  $q(x) \equiv 0$  in the equation (1), the following relation which is similar to (10) is valid:

$$\frac{2i\lambda\tilde{\phi}(x, \lambda)}{e'_0(0, \lambda)} = \overline{e_0(x, \lambda)} - S_0(\lambda)e_0(x, \lambda), \tag{30}$$

where  $\tilde{\phi}(x, \lambda)$  is a solution of the equation (1) with (3) under the initial conditions

$$\tilde{\phi}(0, \lambda) = 1, \quad \tilde{\phi}'(0, \lambda) = 0,$$

moreover,

$$S_0(\lambda) = \frac{\overline{e'_0(0, \lambda)}}{e'_0(0, \lambda)} = \frac{-\alpha^+ + \alpha^- e^{-2i\lambda a}}{\alpha^+ - \alpha^- e^{2i\lambda a}} \tag{31}$$

and we have  $S_0(\lambda) - S_h(\lambda) = O\left(\frac{1}{\lambda}\right)$  as  $|\lambda| \rightarrow \infty$ .

Thus, the function  $S_0(\lambda) - S_h(\lambda) \in L_2(-\infty, \infty)$  is the Fourier transform of the function

$$F_S(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty [S_0(\lambda) - S_h(\lambda)] e^{i\lambda x} d\lambda \tag{32}$$

which belongs to the space  $L_2(-\infty, \infty)$ .

**Theorem 8.** For each  $x \geq 0$ ,  $x \neq a$  the kernel  $K(x, y)$  of the integral representation (5) satisfies the following equation

$$\begin{aligned} K(x, y) - \frac{\alpha^-}{\alpha^+} K(x, 2a - y) + \\ + \hat{F}(x, y) + \int_x^\infty K(x, t)F(y + t) dt = 0, \quad x < y, \end{aligned} \tag{33}$$

where

$$F(x) = F_S(x) + \sum_{k=1}^n m_k^2 e^{-\lambda_k x} \tag{34}$$

and

$$\hat{F}(x, y) = \begin{cases} \alpha^+ F(x + y) + \\ + \alpha^- F(2a - x + y), & 0 < x < a \\ F(x + y), & x > a. \end{cases} \tag{35}$$

**Proof.** It is obtained from (10) and (30) that

$$\begin{aligned} & \frac{2i\lambda\phi(x, \lambda)}{e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)} - \frac{2i\lambda\tilde{\phi}(x, \lambda)}{e'_0(0, \lambda)} = \\ &= \int_x^\infty K(x, t)e^{-i\lambda t} dt + [S_0(\lambda) - S_h(\lambda)]e_0(x, \lambda) \\ &+ \int_x^\infty K(x, t)[S_0(\lambda) - S_h(\lambda)]e^{i\lambda t} dt - \\ &- S_0(\lambda) \int_x^\infty K(x, t)e^{i\lambda t} dt \\ &\text{or equivalently,} \\ &2i\lambda\phi(x, \lambda) \left\{ \frac{1}{e'(0, \lambda) - he(0, \lambda)} - \frac{1}{e'_0(0, \lambda) - he_0(0, \lambda)} \right\} + \\ &+ \frac{2i\lambda(\phi(x, \lambda) - \tilde{\phi}(x, \lambda))}{e'_0(0, \lambda) - he_0(0, \lambda)} + \\ &+ 2i\lambda\tilde{\phi}(x, \lambda) \left\{ \frac{1}{e'_0(0, \lambda) - he_0(0, \lambda)} - \frac{1}{e'_0(0, \lambda)} \right\} \\ &= \int_x^\infty K(x, t)e^{-i\lambda t} dt + [S_0(\lambda) - S_h(\lambda)]e_0(x, \lambda) \\ &+ \int_x^\infty K(x, t)[S_0(\lambda) - S_h(\lambda)]e^{i\lambda t} dt - \\ &- S_0(\lambda) \int_x^\infty K(x, t)e^{i\lambda t} dt. \end{aligned} \tag{36}$$

Now, let us multiply the both hand side of the equality (36) by  $\frac{1}{2\pi} e^{i\lambda y}$  and integrate with respect to

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.908009

$\lambda \in (-\infty, \infty)$ . Then, the right hand side of the new equality is as follows:

$$K(x, y) + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [S_0(\lambda) - S_h(\lambda)] e_0(0, \lambda) e^{i\lambda y} d\lambda + \int_x^{\infty} K(x, t) \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [S_0(\lambda) - S_h(\lambda)] e^{i\lambda(y+t)} d\lambda \right\} dt - \int_x^{\infty} K(x, t) \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_0(\lambda) e^{i\lambda(y+t)} d\lambda \right\} dt. \tag{37}$$

Let us calculate:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_0(\lambda) e^{i\lambda(y+t)} d\lambda.$$

It follows from (31) that

$$S_0(\lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\alpha^-}{\alpha^+}\right)^n \left\{ \left(\frac{\alpha^-}{\alpha^+}\right) e^{2i\lambda a(n-1)} - e^{2i\lambda a n} \right\}$$

Using this expression, we find

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_0(\lambda) e^{i\lambda(y+t)} d\lambda &= \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\alpha^-}{\alpha^+}\right)^n \left\{ \left(\frac{\alpha^-}{\alpha^+}\right) \delta(2a(n-1) + y + t) \right. \\ &\quad \left. - \delta(2an + y + t) \right\} \end{aligned} \tag{38}$$

Thus, substituting (32) and (38) into (37) and taking into account the relation  $K(x, y) = 0$  for  $x > y$  (see Huseynov and Osmanova, 2007), it is obtained for  $y > x$  that the equality (37) is as follows:

$$K(x, y) - \frac{\alpha^-}{\alpha^+} K(x, 2a - y) + \hat{F}_S(x, y) + \int_x^{\infty} K(x, t) F_S(y + t) dt, \tag{39}$$

where

$$\hat{F}_S(x, y) = \begin{cases} \alpha^+ F_S(x + y) + \\ + \alpha^- F_S(2a - x + y), & 0 < x < a \\ F_S(x + y), & x > a. \end{cases}$$

Now, it remains to examine the integral of the product of the left hand side of the equality (36) and  $\frac{1}{2\pi} e^{i\lambda y}$ , taken over the real line  $-\infty < \lambda < \infty$ . Then, applying Jordan's lemma, for  $y > x$  we find

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \frac{2i\lambda_k \phi(x, i\lambda_k) e^{-\lambda_k y}}{\dot{\omega}(i\lambda_k)} &= \sum_{k=1}^n m_k^2 e(x, i\lambda_k) e^{-\lambda_k y} \\ &= \sum_{k=1}^n m_k^2 \left\{ e_0(x, i\lambda_k) e^{-\lambda_k y} + \int_x^{\infty} K(x, t) e^{-\lambda_k(t+y)} dt \right\} \end{aligned} \tag{40}$$

Consequently, using (39) and (40), for  $y > x$  we derive the equation (33). The theorem is proved.

**Definition 9.** The equation (33) is called the *main equation* of the inverse problem of the scattering theory for the problem (1)-(3).

Note that this equation is different from the classical Marchenko equation and we define the equation (33) as the *modified Marchenko equation*.

**Lemma 10.** For each  $x \geq 0$ ,  $x \neq a$  the main equation (33) has a unique solution  $K(x, \cdot) \in L_2(x, \infty)$ .

**Proof.** In case of  $x > a$ , the main equation (33) is in the form of classical Marchenko equation, so for  $x > a$  the proof of this theorem is as in (Marchenko, 2011). Now, suppose that  $x < a$ . The equation (33) can be written as follows:

$$T_x K(x, \cdot) + F_x K(x, \cdot) = -\hat{F}(x, \cdot),$$

where

$$(T_x f)(y) = \begin{cases} f(y), & x > a, \\ f(y) - \frac{\alpha^-}{\alpha^+} f(2a - y), & x < a, \end{cases}$$

$$(F_x f) = \int_x^{\infty} F(t + y) f(t) dt, \quad y > x.$$

The operator  $T_x$  is invertible in the space  $L_2(x, \infty)$  and the operator  $F_x$  is completely continuous in the space  $L_2(x, \infty)$  (see Marchenko, 2011, Lemma 3.3.1). Then, the main equation (33) can be expressed as

$$K(x, \cdot) + T_x^{-1} F_x K(x, \cdot) = -T_x^{-1} \hat{F}(x, \cdot),$$

where the operator  $T_x^{-1} F_x$  is completely continuous operator in  $L_2(x, \infty)$ . Thus, to prove the theorem, it is sufficient to show that the homogeneous equation

$$f_x(y) - \frac{\alpha^-}{\alpha^+} f_x(2a - y) + \int_x^{\infty} F(t + y) f_x(t) dt = 0, \quad y > x$$

has only trivial solution  $f_x(y) = 0$  in  $L_2(x, \infty)$  and this fact is similarly obtained as in (Huseynov and Osmanli, 2009).

**Theorem 11.** The potential function  $q(x)$  is uniquely determined by scattering data  $\{S_h(\lambda), (-\infty < \lambda < \infty); \lambda_k; m_k (k = 1, 2, \dots, n)\}$ .

**Proof.** Using the scattering data  $\{S_h(\lambda), (-\infty < \lambda < \infty); \lambda_k; m_k (k = 1, 2, \dots, n)\}$  we construct the functions  $F(x)$  and  $\hat{F}(x, y)$  via the formulas (34) and (35). Then, with the help of constructed functions, we can write the main equation (33). From Lemma 10, the main equation has a unique solution  $K(x, y)$  which is the kernel of the integral

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.908009

representation (5) for every  $x \geq 0$ ,  $x \neq a$ . Hence, the potential  $q(x)$  is uniquely constructed according to the formulas (6), (7) and (8).

## CONCLUSION

In this paper, we deal with Sturm-Liouville operator with discontinuity conditions at the point  $x = a \in (0, +\infty)$ . Firstly, we examine the scattering data of the boundary value problem (1)-(3). Then, the expansion formula with respect to the eigenfunctions of this problem is obtained. Finally, we solve the inverse scattering problem by using the method of Marchenko. In this method, the main equation (or Marchenko equation) with respect to the kernel of the transformation operator plays the central role. However, the existence of the discontinuity conditions (3) strongly influences the structure of the representation of the Jost solution, so Jost solution is not in the form of transformation operator, is in the form of integral representation. Therefore, we use this integral representation of the Jost solution when solving the inverse scattering problem. Consequently, we derive the main equation of the inverse scattering problem and we give an algorithm for the construction of the potential function  $q(x)$  according to scattering data.

## 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

- Agranovich, Z. S. and Marchenko V. A. (1963). *The inverse problem of scattering theory*. New York and London: Gordon and Breach Science Publishers.
- Chadan, K. and Sabatier, P. C. (1977). *Inverse problems in quantum scattering theory*. Springer-Verlag.
- Çöl, A. (2015). Inverse spectral for Sturm-Liouville operator with discontinuous coefficient and cubic polynomials of spectral parameter in boundary conditions. *Adv. Difference Equ.*, <https://doi.org/10.1186/s13662-015-0478-7>
- Darwish, A. A. (1994). The inverse problem for a singular boundary value problems. *New Zealand J. Math*, 23(1), 37-56.
- El-Raheem, Z. F. A and Salama, F. A. (2015). The inverse scattering problem of some Schrödinger type equation with turning point. *Bound. Value Probl.*, <https://doi.org/10.1186/s13661-015-0316-6>.
- Faddeev, L. D. and Takhtajan, A. (2007). *Hamiltonian methods in the theory of soliton*. Berlin: Springer.
- Gasymov, M. G. (1977). The direct and inverse problem of spectral analysis for a class of equations with a discontinuous coefficient. M. M. Lavrent'ev (Eds), *Non-classical methods in geophysics* in (pp. 37-44). Novosibirsk: Nauka.
- Goktas, S. and Mamedov, K. R. (2020). The Levinson-type formula for a class of Sturm-Liouville equation. *Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics*, 35(4), 1219-1229.
- Guseinov, I. M. and Pashaev, R. T. (2002). On an inverse problem for a second-order differential equation. *Russian Math. Surveys*, 57(3), 597-598.
- Huseynov, H. M. and Osmanova, J. A. (2007). On jost solution of Sturm-Liouville equation with discontinuity conditions. *Trans. Natl. Acad. Sci. Azerb. Ser. Phys.-Tech. Math. Sci.*, 27(1), 63-70.
- Huseynov, H. M. and Osmanli, J. A. (2009). Uniqueness of the solution of the inverse scattering problem for discontinuous Sturm-Liouville operator. *Trans. Natl. Acad. Sci. Azerb. Ser. Phys.-Tech. Math. Sci.*, 29(1), 43-50.
- Huseynov, H. M. and Mammadova, L. I. (2013). The inverse scattering problem for Sturm-Liouville operator with discontinuity conditions on the semi-axis. *Proc. Inst. Math. Mech. Natl. Acad. Sci. Azerb.*, 39, 63-68.
- Jaulent, M. and Jean C. (1976). The inverse problem for the one dimensional Schrödinger equation with an energy-dependent potential I, II. *Ann. Inst. Henri Poincaré Sec. A*, 25, 105-118, 119-137.
- Lavrent'ev Jr, M. M. (1992). An inverse problem for the wave equation with a piecewise-constant coefficient. *Sib. Math. J.*, 33(3), 452-461.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.908009

- Levitan B. M. (1975). The inverse scattering problem of quantum theory. *Math. Notes*, 17(4), 363-371.
- Levitan B. M. (1987). *Inverse Sturm-Liouville problems*. Utrecht: VNU Sci. Press.
- Mamedov, K. R. (2009). On the inverse problem for Sturm-Liouville operator with a nonlinear spectral parameter in the boundary condition. *Journal of Korean Mathematical Society*, 46(6), 1243-1254.
- Mamedov, K. R. (2010). On an inverse scattering problem for a discontinuous Sturm-Liouville equation with a spectral parameter in the boundary condition. *Bound. Value Probl.*, <https://doi.org/10.1155/2010/171967>.
- Mamedov, K. R. and Cetinkaya, F. A. (2015). Boundary value problem for a Sturm-Liouville operator with piecewise continuous coefficient. *Hacet. J. Math. Stat.*, 44(4), 867-874.
- Mamedov, K. R. and Kosar, N. P. (2010). Continuity of the inverse scattering function and Levinson type formula of a boundary value problem. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, 5(4), 159-170.
- Mamedov, K. R. and Kosar, N. P. (2011). Inverse scattering problem for Sturm-Liouville operator with nonlinear dependence on the spectral parameter in the boundary condition. *Math. Methods Appl. Sci.*, 34(2), 231-241.
- Manafov, M. D. and Kablan, A. (2013). Inverse scattering problems for energy-dependent Sturm-Liouville equations with point  $\delta$ -interaction and eigenparameter-dependent boundary condition. *Electron. J. Differential Equations*, 237, 1-9.
- Marchenko, V.A. (2011). *Sturm-Liouville operators and applications*. Providence, Rhode Island: AMS Chelsea Publishing.
- Marchenko, V. A. (1955). On reconstruction of the potential energy from phases of the scattered waves. *Doclady Akademii Nauk SSSR*, 104, 695-698.
- Mızrak, Ö., Mamedov, K. R. and Akhtyamov, A. M. (2017). Characteristic properties of scattering data of a boundary value problem. *Filomat*, 31(12), 3945-3951.

## Some Growth Parameters of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) Population Living In The Pülümür River

Ebru İfakat Özcan\*, Osman Serdar

Munzur University, Faculty of Fisheries, Department of Basic Sciences, Tunceli, Turkey

\*ebruozer@munzur.edu.tr , oserdar@munzur.edu.tr 

Received date: 04.04.2021, Accepted date: 21.07.2021

### Abstract

In this study, some growth parameters have been investigated like sex distribution, length and weight relationship, age determination, von Bertalanffy growth parameters and condition factor of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) (644 female, 743 male) captured from Pülümür River between 2017 and 2019. Females varied from 7.1 to 38.8 cm in total length and 3.4 to 514.2 g in weight. Males varied from 7.3 to 38.3 cm in total length and 3.5 to 450.4 g in weight. The sex ratio (females/males) for *C. umbla* was 1:1.154. The age groups for *C. umbla* was 0-11. The von Bertalanffy growth parameters were determined as  $L_t=49.25[1-e^{-0.128(t+1.68)}]$ ;  $W_t=666.91[1-e^{-0.128(t+1.68)}]^{2.973}$  for female,  $L_t=44.42[1-e^{-0.155(t+1.37)}]$ ;  $W_t=735.19[1-e^{-0.155(t+1.37)}]^{2.954}$  for male and  $L_t=45.29[1-e^{-0.146(t+1.42)}]$ ;  $W_t=772.56[1-e^{-0.146(t+1.42)}]^{2.963}$  for all individuals. The growth performance index ( $\Phi'$ ) value was determined as 2.476. The length and weight relations of *C. umbla* were found as  $W=0.0096*L^{2.973}$ ,  $R^2=0.97$  (95 % CI of  $b=2.773-3.139$ ) for females;  $W=0.0103*L^{2.954}$ ,  $R^2=0.98$  (95 % CI of  $b=2.797-3.092$ ) for males and  $W=0.0100*L^{2.963}$ ,  $R^2=0.98$  (95 % CI of  $b=2.773-3.139$ ) for all individuals. The growth type of *C. umbla* was isometric for all individuals ( $R=0.99$ ,  $R^2=0.97$ ,  $F_{1,1385}=51700.4$ ,  $P<0.001$ ). The highest condition factor was observed as 2nd age (0.931), while the lowest was observed 11nd age (0.796).

**Keywords:** Age, *Capoeta umbla*, Pülümür River, von Bertalanffy growth parameters

## Pülümür Nehri'nde Yaşayan *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) Populasyonunun Bazı Büyüme Parametreleri

### Öz

Bu çalışmada; 2017 ve 2019 tarihleri arasında Pülümür Nehri'nden yakalanan *Capoeta umbla*'nın (Heckel, 1843) (644 dişi, 743 erkek) cinsiyet dağılımı, boy ve ağırlık ilişkisi, yaş tayini, von Bertalanffy büyüme parametreleri ve kondisyon faktörü gibi bazı büyüme parametreleri araştırılmıştır. Dişilerde total boy 7.1-38.8 cm ve ağırlık 3.4-514.2 g arasında değişmektedir. Erkeklerde total boy 7,3-38,3 cm ve ağırlık 3,5-450,4 g arasında değişmektedir. *C. umbla* için cinsiyet oranı (dişi/erkek) 1:1.154 olarak hesaplanmıştır. *C. umbla* için yaş grupları 0-11 yaş olduğu tespit edilmiştir. von Bertalanffy büyüme parametreleri dişiler için  $L_t=49.25[1-e^{-0.128(t+1.68)}]$ ;  $W_t=666.91[1-e^{-0.128(t+1.68)}]^{2.973}$ , erkekler için  $L_t=44.42[1-e^{-0.155(t+1.37)}]$ ;  $W_t=735.19[1-e^{-0.155(t+1.37)}]^{2.954}$  ve tüm bireyler için  $L_t=45.29[1-e^{-0.146(t+1.42)}]$ ;  $W_t=772.56[1-e^{-0.146(t+1.42)}]^{2.963}$  olarak belirlendi. Büyüme performans endeksi ( $\Phi'$ ) değeri 2.476 olarak belirlendi. *C. umbla*'nın boy-ağırlık ilişkileri dişiler için  $W=0.0096*L^{2.973}$ ,  $R^2=0.97$  (95 % CI of  $b=2.773-3.139$ ), erkekler için  $W=0.0103*L^{2.954}$ ,  $R^2=0.98$  (95 % CI of  $b=2.797-3.092$ ) ve tüm bireyler için  $W=0.0100*L^{2.963}$ ,  $R^2=0.98$  (95 % CI of  $b=2.773-3.139$ ) olarak bulundu. *C. umbla*'nın büyüme tipi tüm bireyler için izometrik ( $R=0.99$ ,  $R^2=0.97$ ,  $F_{1,1385}=51700.4$ ,  $P<0,001$ ). En düşük kondisyon faktörü 11 yaş (0.796), en yüksek kondisyon faktörü 2 yaş (0.931) olarak görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yaş, *Capoeta umbla*, Pülümür Nehri, von Bertalanffy büyüme parametreleri

### INTRODUCTION

*Capoeta* genus, denotes distributed geographically central Asia, southern China, northern India, Afghanistan, Turkmenistan, Georgia, Armenia, Azerbaijan, Uzbekistan (Aral), the Middle East and in Anatolia, live 5 species and 6 subspecies in Turkey.

Species and subspecies all have economic importance in human feeding (Geldiay and Balık, 1999; Çicek et al., 2016). *Capoeta umbla* is a cyprinid species known as Tigris scraper and reach a length of 40 cm (Froese and Pauly, 2006). This species is common in the

Tigris River, and has been recorded from Iran, Iraq, Syria and Turkey (Turkey-in-Asia) and listed it in the Least Concern (LC) category (Freyhof, 2014).

The body of the *C. umbla*, which is more or less cylindrical, is slightly pressed from the sides and covered with small scales. The nose is blunt, the mouth is large and the shape of a transverse slit. The lips are covered with a hard skin that has a horn-like structure. There is a pair of small mustaches at the corners of the mouth. The last bone beam of the dorsal fin is underdeveloped and has small denticles on the posterior margin. The color is dark brown on the back, brown-yellow on the sides, and often off-white in the abdomen. They spread in the upper basins of the Euphrates and Tigris River systems (Geldiay and Balık, 2007).

Fish in an environment determination of population growth characteristics is one of the basic biology subjects. Determining the rates of fish in the population of individuals of different age groups, life span, calculation of growth rates, growth rates, mortality rates, determination of sexual maturation and spawning periods bring the need for age information (Polat, 2000).

*C. umbla* has economic importance in Turkey eastern region, so there are many studies about this species (Girgin et al., 1997; Aydın and Şen, 2002; Türkmen et al., 2002; Günes, 2007; Ceyhun and Erdoğan, 2008; Saler et al., 2010; Çoban et al., 2013; Gündüz et al., 2015; Serdar and Özcan., 2016; Eroğlu et al., 2018; Pala et al., 2018). The aim of our study is the biological characteristics of the *Capoeta umbla* population captured from Pülümür River and creating a data source on the management and conservation of the species. Thus, the research results contribute to the stock management of the species we have studied. It will also shed light on future biological studies.

## MATERIAL AND METHODS

### Study area/Sampling/Data collection

The Pülümür River (Tunceli), located in eastern Turkey, approximately 70 km long (Gültekin et al., 2017). Pülümür River rises from the foothills of Avcı Mountains and flows from Pülümür to 20 km north of Tunceli with the joining of streams and in Tunceli city center borders with Munzur water (Saler and Bulut, 2011). It is present in various studies previously conducted in this region (Saler and Bulut, 2011; Saler et al., 2014; Özcan, 2019; Özcan, 2020).

Fish samples were caught Pülümür River (Tunceli) by electroshockers between 2017 and 2019 (1. station: 39° 40' 09.72 "N, 39° 82' 85.67" E 2. station: 39° 39' 63.38 "N, 39° 82' 77.50" E) (Figure 1). Fish samples were transported to the laboratory of Fisheries Faculty of Munzur University. All individuals, the total length (TL), the weight (W) were measured to the nearest 0.1 cm and 0.01 g. After dissection of fish, sex detection determined with macroscopic examination of gonads. Whether the sex ratio (females/males) in the sample is statistically different from the expected 1:1 ratio was determined by applying the chi-square ( $\chi^2$ ) test (Zar 1999).

For age determination of fish samples by lignelateral line and operculum and anterior side of dorsal fin 10-15 scales were taken from among. Scales usually leave no mark on and packed in non-adhesive paper envelopes. Scales that are dirty washed in warm water. Drop a few drops of glycerin and placed face up. Age readings were done (OLYMPUS BX53 brand microscope). Each sample prepared during age readings was read by different people at least 2 times.

### von Bertalanffy growth function (VBGF)

The von Bertalanffy growth equation is as follows (von Bertalanffy, 1938) :

$$TL_t = TL_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

$$W_t = W_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (1)$$

Accuracy of the growth parameters was tested using von Bertalanffy growth performance (Gayanilo and Pauly, 1997):

$$P = \log_{10}(k) + 2\log_{10}(L_{\infty}) \quad (2)$$

### Length-weight relations (LWRs)

Total length-weight relation was determined with the equation (King, 1995) :

$$W = a L^b \quad (3)$$

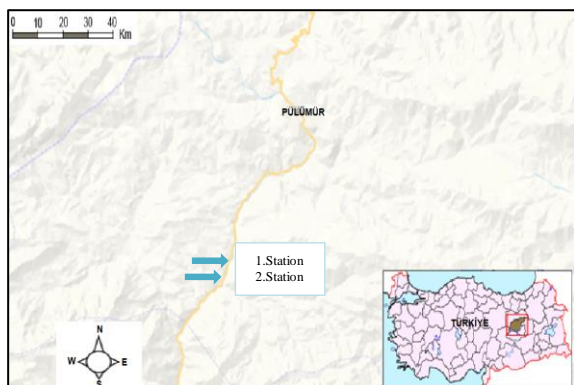
### Condition factor

The condition factor (CF) values of fish are acquire with this equation (Le Cren, 1951) :

$$CF = (W/TL^b).100 \quad (4)$$

Also statistical analysis of the data obtained was made using Microsoft Office Excel 2013 and SPSS 24.0 package programs.





**Figure 1.** Sampling area (Pülümür River) (URL-1, 2021).

## RESULTS AND DISCUSSION

A total of 1387 individuals of *C. umbla* (644 female, 743 male) were collected during the study. Females varied from 7.1 to 38.8 cm ( $19.69 \pm 0.18$ ) in TL and 3.4 to 514.2 g ( $79.79 \pm 2.28$ ) in W. Males varied from 7.3 to 38.3 cm ( $19.69 \pm 0.17$ ) in TL and 3.5 to 450.4 g ( $79.82 \pm 2.12$ ) in W (Table 1). The sex composition was 46.43% females and 53.57% males. The sex ratio (females/males) for *C. umbla* was 1:1.154, chi-square ( $\chi^2$ ) test showed that significantly different from the theoretical 1:1 ratio ( $P < 0.05$ ). The age of captured specimens of *C. umbla* is ranged from 0 to 11 years for all individuals and the 2nd group was dominant (658 samples) in the population. Age-frequency distribution by sex is given in Figure 2.

In this study, male of *C. umbla* were caught more in the field sample. Age composition of *C. umbla* in the present study was determined as 0-11 years. The age composition was determined by several studies (Table 3). The age distribution and sex ratios obtained from this study and the findings in Table 3 are different from each other. In the previous studies, the largest *C. umbla* was reported as 13 age (years) and 47.20 cm (Şen and Aydın, 2000). It can be assumed that this difference is due to different population structures in different regions, min-max lengths and catching method used to collect samples. Nikolsky (1963) reported that sex ratios in different populations of the same species may be different.

The parameters of von Bertalanffy growth estimated as  $L_t = 49.25[1 - e^{-0.128(t+1.68)}]$ ;  $W_t = 666.91[1 - e^{-0.128(t+1.68)}]^{2.973}$  for female,  $L_t = 44.42[1 - e^{-0.155(t+1.37)}]$ ;  $W_t = 735.19[1 - e^{-0.155(t+1.37)}]^{2.954}$  for male and  $L_t = 45.29[1 - e^{-0.146(t+1.42)}]$ ;  $W_t = 772.56[1 - e^{-0.146(t+1.42)}]^{2.963}$  for all individuals. The maximum length at age was determined as 38.8 cm at 11 years (Figure 3).

The growth performance index ( $\Phi'$ ) value was calculated as 2.476 for *C. umbla* (all individuals) (Table 2).

The value of  $L_\infty$  of females (49.25) was higher than that of males (44.42). Türkmen et al., (2002), Güneş (2007), Ceyhun and Erdoğan (2008), Gündüz et al., (2015) and Eroğlu et al., (2018) achieved similar results. The reason for this may be that females grow faster than males and live longer (Weatherley, 1972; Türkmen et al., 2002). This can be due to in growth differences between females and males, according to Froese and Binohlan (2000). The values of  $k$  were found to be in female, male and all individuals 0.128, 0.155, 0.146, respectively. Fish with high  $k$  values are short-lived (Sparre and Venema, 1998). While  $k$  values were found to be very bigger from the findings of Şen and Aydın (2000), Türkmen et al., (2002), Güneş (2007) (Tuzla stream), Ceyhun and Erdoğan (2008), Gündüz et al., (2015) and Eroğlu et al., (2008); were found to be very smaller from findings of Güneş (2007) (Tercan Dam Lake) and Çoban et al., (2013) (Table 3). These differences may be due to the largest individuals. Using the von Bertalanffy growth parameters ( $k$  and  $L_\infty$ ), the "growth performance index" ( $\Phi'$ ) was calculated. The values of  $\Phi'$  were very close in the other studies (Table 3).

The LWRs of *C. umbla* were calculated as  $W = 0.0096 * L^{2.973}$  ( $R^2 = 0.97$ , SE of  $b = 0.0018$  and 95 % confidence intervals of  $b = 2.773 - 3.139$ ,  $t$ -test  $P > 0.05$ ) for females,  $W = 0.0103 * L^{2.954}$  ( $R^2 = 0.98$  SE of  $b = 0.0017$  and 95 % confidence intervals of  $b = 2.797 - 3.092$ ,  $t$ -test  $P > 0.05$ ) for males and  $W = 0.0100 * L^{2.963}$  ( $R^2 = 0.98$  SE of  $b = 0.0012$  and 95 % confidence intervals of  $b = 2.773 - 3.139$ ,  $t$ -test  $P > 0.05$ ) for all individuals (Figure 4). Our data suggested that the growth type of *C. umbla* showed was isometric for all individuals ( $R = 0.99$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F_{1,1385} = 51700.4$ ,  $P < 0.001$ ;  $t$ -test = 227.376,  $P < 0.01$ ). Also, the  $t$ -test results are when analyzed in terms of importance ( $P < 0.01$ ); fish size data can be used with high accuracy to estimate fish weight was found (Başusta et al., 2017; Serdar and Özcan, 2018).

The slope value ( $b$ ) of the length-weight relation was determined as 2.973 for females, 2.954 for males and 2.963 for all individuals. According to 95% confidence limits of  $b$  (2.773-3.139 for female, 2.797-3.092 for male and 2.773-3.139 for all individuals); because of the  $b$  value close to 3, the growth of female, male and all individuals was isometric. The

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.909206

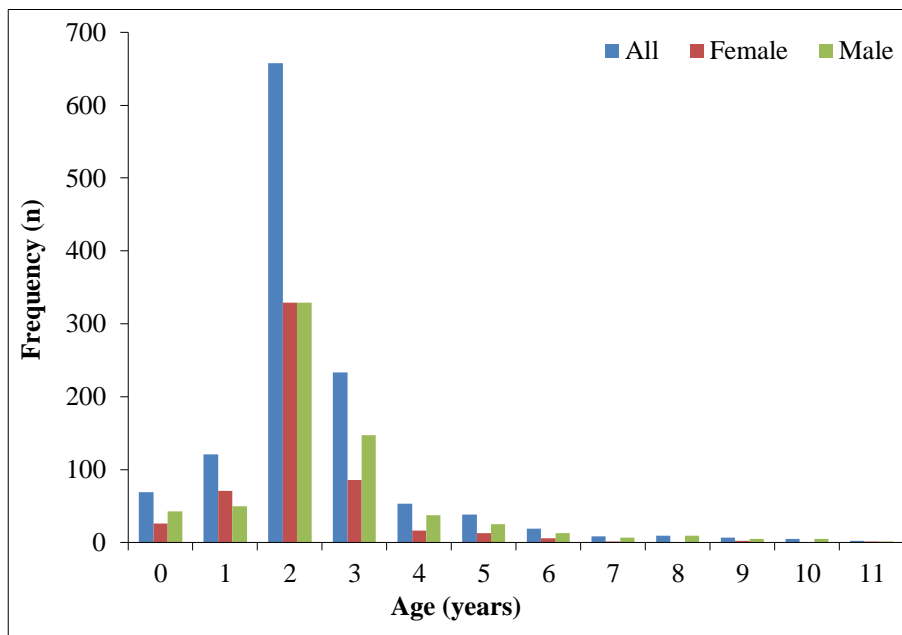
values of  $b$  in Table 3 ranged from 2.310 to 3.186 but, our results are between the differ ranges. The values of  $b$  were within the limits of 2.5-3.5 commonly reported (Froese, 2006). While the values of  $b$  were close to those found by Türkmen et al., (2002) and Gündüz et al., (2015); were different from those found by Şen and Aydın (2000), Güneş (2007), Ceyhun and Erdoğan (2008), Çoban et al., (2013) and Eroğlu et al., (2018). Pauly (1984) reported that the value of  $b$  may vary according to ecological factors,

food level, age, sex, sexual maturity and species. The differences in the value of  $b$  can be due to these factors in the other studies. The coefficient of determination ( $R^2$ ) was found to be  $>0.97$  highly significant value of the result.

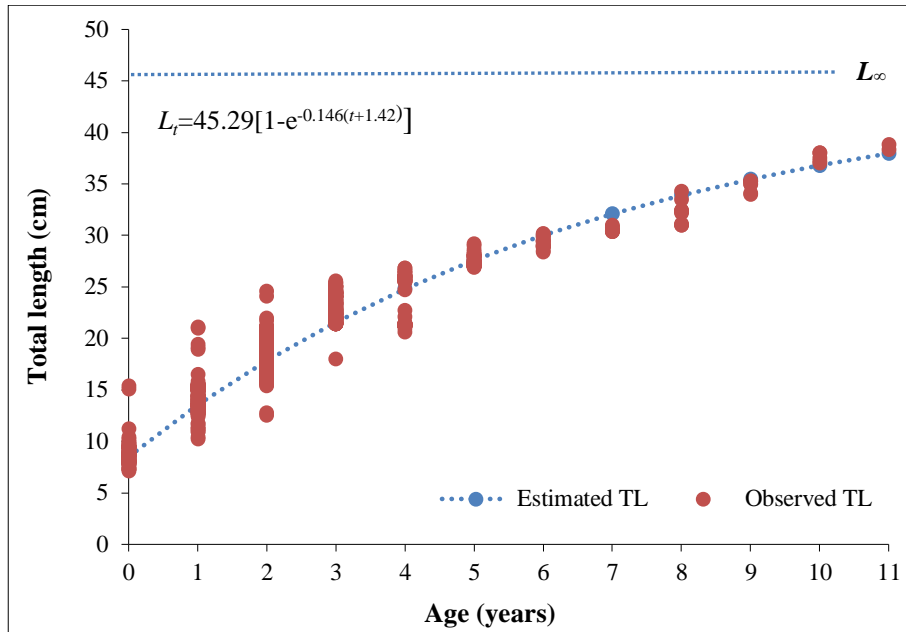
When the  $t$ -test results was used for the significance condition of the regression coefficients, it was identified that length data could be used in highly reliable to estimate weight (Özcan and Başusta, 2018).

**Table 1.** Total length and weight values of *C. umbla* in Pülümür River

Sex	n	Total Length (cm)		Weight (g)	
		Mean±S.E	Min-Max	Mean±S.E	Min-Max
♀	644	19.69±0.18	7.1-38.8	79.79±2.28	3.4-514.2
♂	743	19.69±0.17	7.3-38.3	79.82±2.12	3.5-450.4
♀+♂	1387	19.69±0.12	7.1-38.8	79.79±1.55	3.4-514.2



**Figure 2.** Age-frequency distribution of *C. umbla* from Pülümür River



**Figure 3.** According to lengths at age (observed TL) and VBGF (estimated TL), age-total length distribution all individuals of *C. umbla* from Pülümür River

**Table 2.** The parameters of the growth and age-length for *C. umbla* from Pülümür River

Sex	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	95% CI of <i>b</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>L</i> <sub>∞</sub> (cm)	<i>W</i> <sub>∞</sub> (g)	<i>k</i> (year <sup>-1</sup> )	<i>t</i> <sub>0</sub> (year)	Φ'	CF
♀	644	0.0096	2.973	2.773-3.139	0.97	49.25	666.91	0.128	-1.68	2.492	0.809
♂	743	0.0103	2.954	2.797-3.092	0.98	44.42	735.19	0.155	-1.37	2.485	0.877
♀+♂	1387	0.0100	2.963	2.773-3.139	0.98	45.29	772.56	0.146	-1.42	2.476	0.876

(*n*: sample size; *a*: intercept, *b*: slope, *CI*: confidence limits, *R*<sup>2</sup>: coefficient of determination *L*<sub>∞</sub>: asymptotic length; *W*<sub>∞</sub>: asymptotic weight; *t*<sub>0</sub>: theoretical age; *k*: body growth coefficient; Φ': growth performance index; CF: condition factor)

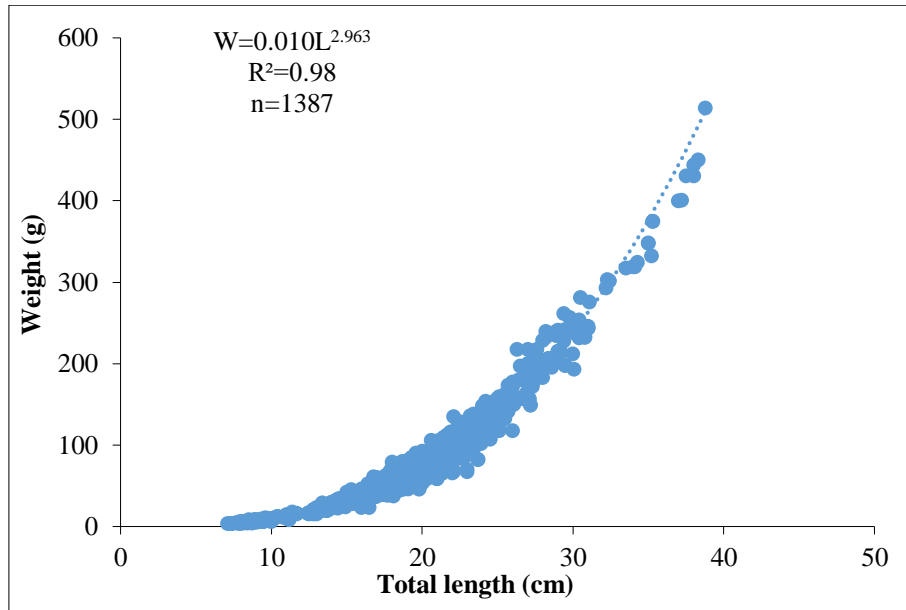


Figure 4. Length-weight relationships of *C. umbla* for all individuals from Pülümür River

Table 3. Some parameters age, growth, length-weight relationships of *C. umbla* from different habitats

Habitat	Sex	n	Age	a	b	R <sup>2</sup>	L <sub>∞</sub>	k	t <sub>0</sub>	Φ'	Author
Hazar Lake	♀	180	2-13	0.0000083	3.006	0.96	68.61	0.07	-2.04	2.517	Şen and Aydın, 2000
	♂	164	2-13	0.0000050	3.097	0.96	71.49	0.06	-2.63	2.486	
	♀+♂	346	1-13	0.0000029	3.186	0.94	68.62	0.07	-2.20	2.517	
Karasu River	♀	506	1-10	0.0117	2.991	0.99	45.70	0.14	-0.83	2.465	Türkmen et al., 2002
	♂	665	1-12	0.0139	2.936	0.99	42.30	0.14	-0.98	2.398	
Tercan Dam Lake	♀	165	1-6	0.000500	2.321	0.98	41.64	0.19	-0.69	2.517	Güneş, 2007
	♂	158	1-6	0.000192	2.485	0.98	40.60	0.22	-0.29	2.559	
	♀+♂	323	1-6	0.000677	2.674	0.98	41.11	0.20	-0.54	2.528	
Tuzla stream	♀	161	1-6	0.000290	2.400	0.98	54.17	0.12	-1.54	2.546	Güneş, 2007
	♂	146	1-6	0.000141	2.532	0.99	46.08	0.15	-1.34	2.503	
	♀+♂	307	1-6	0.000208	2.458	0.98	52.15	0.14	-1.35	2.580	
Kilis stream	♀	103	1-5	0.069	2.31	0.86	57.20	0.09	-1.23	2.470	Ceyhun and Erdoğan, 2008
	♂	91	1-5	0.058	2.38	0.86	48.90	0.11	-1.07	2.420	
	♀+♂	194	1-5	0.064	2.34	0.86	53.00	0.09	-1.16	2.400	
Hazar Lake	♀	237	1-10	0.056	2.466	0.95	49.22	0.20	-1.88	2.685	Çoban et al., 2013
	♂	127	1-10	0.104	2.262	0.93	56.17	0.13	-1.62	2.612	
	♀+♂	364	1-10	0.070	2.390	0.95	53.77	0.16	-1.84	2.665	
Uzunçayır Dam Lake	♀	158	1-11	0.0112	2.927	0.96	47.01	0.16	-1.58	2.550	Gündüz et al., 2015
	♂	288	1-12	0.0111	2.930	0.95	44.91	0.14	-1.82	2.450	
	♀+♂	446	1-12	0.0110	2.932	0.96	46.85	0.14	-1.95	2.490	

Özlüce	♀	223	1-12	0.0072	3.064	0.89	50.59	0.14	-1.99	2.550	Eroğlu et al., 2018
Dam Lake	♂	153	1-11	0.0066	3.092	0.95	47.12	0.12	-2.78	2.430	
	♀+♂	376	1-12	0.0071	3.070	0.94	49.83	0.13	-2.13	2.510	
Pülümür River	♀	644	0-11	0.0096	2.973	0.97	49.25	0.128	-1.68	2.492	This study
	♂	743	0-11	0.0103	2.954	0.98	44.42	0.155	-1.37	2.485	
	♀+♂	1387	0-11	0.0100	2.963	0.98	45.29	0.146	-1.42	2.476	

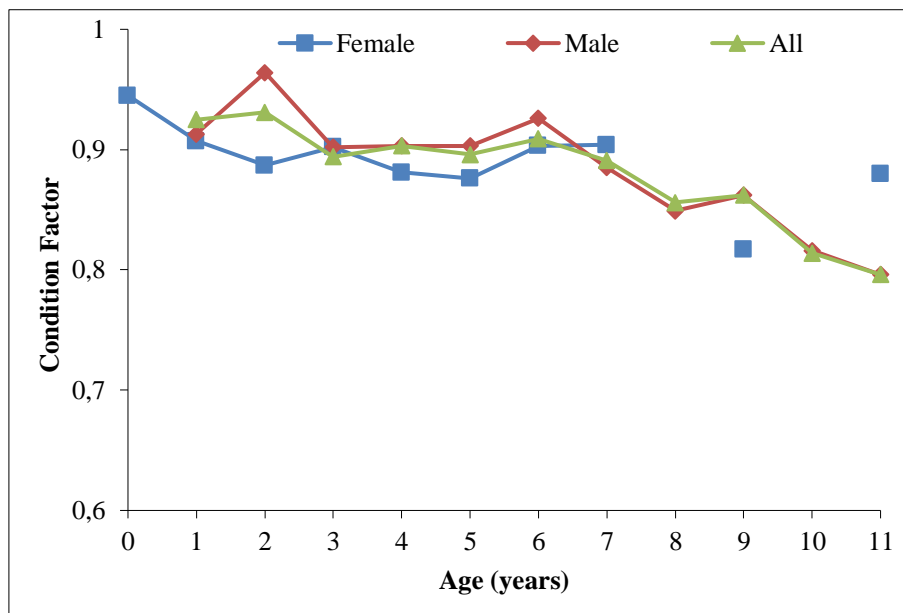


Figure 5. According to age-condition factor for *C. umbla* from Pülümür River

Condition factor was calculated for sexes (Table 2) and all age-groups. The difference between sexes by age groups was not significant ( $p>0.05$ ). The highest condition factor was observed as 2nd age (0.931), while the lowest was observed 11nd age (0.796) (Figure 5).

In this study, mean condition factor values were determined between 0.525-1.351 for female and 0.577-1.270 for male. During the later age (years), the condition factor value has decreased. Şen and Aydın (2000) found that the condition factor of *Capoeta umbla* in Hazar Lake is between 0.52-1.45 and they found the average condition factor in at least 1 age groups and at most 10 age groups. In addition, it has been reported that the condition factor value of fish may vary depending on factors such as age (Korkut et al., 2007).

The average condition factor values were ranged from 0.85-0.95 for male and 0.76-0.98 for female in Uzunçayır Dam Lake (Gündüz et al., 2015). Eroğlu et al., (2018) condition factor values were ranged from 0.78-1.15 for female and 0.81-0.96 for male living in Özlüce Dam Lake. The differences in the condition factor show the biological conditions such as the adaptation of the environment and nutrient status (Le Cren, 1951).

## CONCLUSION

As a result, biological characteristics of *C. umbla* species from Pülümür River found to be similar to findings obtained in other previous studies. Growth parameters may vary from species to species, as well as in different populations of the same species. At the same time, the growth of different year classes in a stock; changes can also be seen due to changes in habitat sharing, ecological conditions and eating

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.909206

habits. Apart from these, significant growth differences can also be seen between genders in a population (Çetinkaya et al., 2005). So, the present study is on the some growth parameters of *Capoeta umbla* population living in Pülümür River. The findings of this study will be an important reference for the similar studies in the future for this species.

### CONFLICT OF INTEREST

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

- Aydın, R., Şen, D. 2002. Hazar Gölü'nde Yaşayan *C. c. umbla* (Heckel, 1843)'da Aynı Kemiksi Yapıların Sağ ve Solları Arasındaki Yaş İlişkisi. *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14: 209-220.
- Başusta, A., Başusta, N., Sangün, L. 2017. Length-Weight Relationship of Brown Comber, *Serranus hepatus*, Linnaeus, 1758 from Iskenderun Bay, Northeastern Mediterranean, Turkey. *Natural and Engineering Sciences*, 2(1):1-5.
- Ceyhun, S.B., Erdoğan, O. 2008. Kilise Deresi'nde (Hınıs) yaşayan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)'nın Populasyon Yapısı ve Dere Suyunun Bazı Özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39: 35-41.
- Çetinkaya, O., Şen, F., Elp, M. 2005. Balıklarda Büyüme ve Büyüme Analizleri. M. Karataş (eds), *Balık Biyolojisi Araştırma Yöntemleri*, Ankara: 93-120.
- Çicek, T., Kaya, A., Bilici, S. 2016. Survey on scale of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) by geometric morphometric methods depend on gender, age and season variations. *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, 31(2): 96-104.
- Çoban, M.Z., Gündüz, F., Demirel, F., Örnekeçi, G.N., Karakaya, G., Türkgülü, I., Alp, A. 2013. Population Dynamics and Stock Assessment of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) in Lake Hazar, Elazığ, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13: 221-231.
- Eroğlu, M., Düşükcan, M., Çoban, M.Z. 2018. Özlüce Baraj Gölü'nde Yaşayan *Capoeta umbla* (Heckel, 1843)'nın Bazı Populasyon Parametreleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(2):229-238.
- Froese, R., Binohlan, C. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data". *Journal of Fish Biology*, 56: 758-773.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22:241-253.
- Froese, R., Pauly, D. 2006. "*Capoeta umbla*" in FishBase. April 2006 version.
- Freyhof, J. 2014. *Capoeta umbla*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Gayanilo, F.C., Pauly, D. 1997. FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FISAT)", Reference Manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8. 1997. Rome, Italy.
- Geldiay, R., Balık, S. 1999. Inlandwater Fishes of Turkey (3rd ed.), Ege University Faculty of Fisheries, İzmir.
- Geldiay, R., Balık, S. 2007. Türkiye Tatlısu Balıkları. 5. Baskı, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, 644s.
- Girgin, A., Öztürk, S., Emiroğlu, S., Şen, D. 1997. Karakaya baraj gölünde yaşayan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) da büyüme özellikleri, IX. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Egirdir/Isparta, Turkey, 1997.
- Gültekin, Z., Aydın, A., Winkelman, C. 2017. Macroinvertebrate composition in the metarhithral zones of the Munzur and Pülümür rivers: a preliminary study, *Turkish Journal of Zoology*, 41: 1100-1104.
- Gündüz, F., Demirel, F., Çoban, M.Z., Yüksel, F., Kurtoğlu, M., Yıldız, N., Kılıç, A. 2015. Uzunçayır Baraj Gölü'ndeki *Capoeta umbla* (Heckel, 1843)'nın Bazı Populasyon Parametreleri. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 1(2), 100-111.
- Güneş, M. 2007. Determination of some bio-ecological properties and total fat and fatty acid compositions of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) populations living in Tercan Dam and Tuzla River. *Doktorate Thesis*, 2007. Atatürk University, Erzurum.
- King, M. 1995. "Fisheries biology, assessment and management". Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, UK.
- Korkut A.Y., Kop, A., Demirtaş, N., Cihaner, A. 2007. Balık Beslemede Gelişim Performansının İzlenme Yöntemleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 24, 201-205.
- Le Cren, C.D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the Perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20: 201-219
- Nikolsky, G.V. 1963. The Ecology of Fishes. Academic Press, London and New York. 352 pp.


Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.909206

- Özcan, E.İ., Başusta, N. 2018. Preliminary study on age, growth and reproduction of *Mustelus mustelus* (Elasmobranchii: Carcharhiniformes: Triakidae) inhabiting the Gulf of Iskenderun, north-eastern Mediterranean Sea. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 48 (1): 27–36.
- Özcan, E.İ. 2019. Pülümür Nehri (Tunceli, Türkiye)'ndeki *Barbus lacerta* Heckel, 1843'ün Boy-Ağırlık İlişkisi ve Kondisyon Faktörü. *Ecological Life Sciences*, 14(4), 66-73.
- Özcan, E.İ. 2020. Pülümür Nehri'nde Yaşayan *Acanthobrama marmid* Heckel, 1843 Populasyonunun Bazı Büyüme Özelliklerinin Belirlenmesi. *Ecological Life Sciences*, 15(4):121-133.
- Pala, A., Serdar, O., Küçükgül, A. 2018. Pülümür Akarsuyundan Avlanan *Capoeta umbla* (Heckel, 1843)'nın Sindirim Kanalı Helmintlerinin Araştırılması . *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 4(1), 95-101.
- Pauly, D. 1984. Some Simple Methods for the Assessment of Tropical Fish Stocks. FAO, Rome, 65p.
- Polat, N. 2000. Balıklarda Yaş Belirlemenin Önemi. IV. Su Ürünleri Sempozyumu, 28-30 Haziran 2000, Erzurum.
- Salter, S., Sönmez, F., Çelik, B., Örnekeçi, G.N., Yüce, S. 2010. Keban Baraj Gölü'nde Yaşayan *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) ve *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) Türlerinin Sindirim Sistemi İçerikleri. *Ecological Life Sciences*, 5 (4): 307-318.
- Salter, S., Bulut, H. 2011. Zooplankton Composition of Pülümür Stream (Tunceli-Turkey). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(11):1401-1403.
- Salter, S., Bulut, H., Baysal, N. 2014. Zooplankton of Uzunçayır Dam Lake (Tunceli-Turkey). *Journal of FisheriesSciences.com*, 8(1):1-7.
- Serdar, O., Özcan, E.İ. 2016. Length-weight and length-length relationships of *Capoeta umbla* in Karasu River (East Anatolia, Turkey). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33(4): 413-416.
- Serdar, O., Özcan, E.İ. 2018. Length-weight, length-length relationships and condition factor of *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) and *Barbus lacerta* Heckel, 1843 from Karasu River (East Anatolia, Turkey). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(6):729-732.
- Sparre, P., Venema, S.C. 1998. Introduction to tropical fish stock assessment". FAO Fisheries Technical Paper, 306/1, Rev. 2, rome, pp:579.
- Şen, D., Aydın, R. 2000. Growth Properties of *C. c. umbla* (Heckel, 1843) Living In Hazar Lake, Elazığ. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2): 261-273.
- Türkmen, M., Erdoğan, O., Yıldırım, A., Akyurt, I. 2002. Reproduction tactics, age and growth of *C. c. umbla* Heckel, 1843 from the Aşkale Region of the Karasu River, Turkey". *Fisheries Research*, 54: 317-328.
- URL-1, 2021. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/tunceli/TurizmAktiviteleri/pulumur-cayi-vadisi>, 6 Haziran 2020.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10: 181–213.
- Weatherley, A.H. 1972. Growth and Ecology of Fish Populations. Academic Press, London, p. 293.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. New Jersey (USA): Prentice-Hall. 663 p.

## Poroz Kanatçık İlaveli Hava Isıtmalı PV/T Kolektörünün Sürdürülebilirlik İndeksi ve Termodinamik Analizi

Fatih Bayrak

Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt, Türkiye

fatih.byrk@gamil.com 

Makale gönderme tarihi: 01.05.2021, Makale kabul tarihi: 05.10.2021

### Öz

Fotovoltaik panellerin ve güneş kolektörlerinin ayrı ayrı kullanılması hem maliyeti hem de kapladıkları alanı artırmaktadır. Bu yüzden araştırmacıları bir sistemden hem ısı hem de elektrik üretmeye yönlendirmiştir. Bu deneysel çalışmada, yeni tip kanatçıklı hava ısıtmalı fotovoltaik/termal (PV/T) kolektör tasarlanmış ve karşılaştırılmalı olarak test edilmiştir. Deneylerde, kanatçıklı ve kanatçıksız PV/T kolektörlere doğal taşınım (DT) ve zorlanmış taşınım ( $m_1 = 0.01$  kg/s ve  $m_2 = 0.015$  kg/s) uygulanmıştır. Tüm sistemlerin termodinamik analizi ve ekserji veriminin bir fonksiyonu olan sürdürülebilirlik indeksi (SI) incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kütleli debinin artması ve kanatçık entegre edilmesi PV/T sisteminin çıkış gücüne, elektriksel enerjisine ve ekserjisine pozitif etki etmiştir. Sistemdeki en düşük çıkış gücü kanatçıksız ve doğal taşınımda (M1) 26.84W, en yüksek çıkış gücü kanatçıklı ve zorlanmış taşınımda (M6) 37.40W'tır. Tüm PV/T kolektörleri karşılaştırıldığında en yüksek genel ekserji verimi %20.48 ile doğal taşınımlı ve kanatçıklı M4 kolektörü olmuştur. Ekserji veriminin bir fonksiyonu olan sürdürülebilirlik indeksi (SI) değerleri kanatçıklı sistemlerde daha yüksektir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, ekserji, kanatçık, PV/T kolektör, sürdürülebilirlik indeksi

## Sustainability Index and Thermodynamic Analysis of Porous Fin Added Air Heated PV/T Collector

### Abstract

As a result of using photovoltaic panels and solar collectors separately, both the installation cost and the usage area increase. Therefore researchers have directed from a single system to produce both heat and electricity. In this experimental study, a new type of fin air heated photovoltaic/thermal (PV/T) collector is designed and tested comparatively. In the experiments, natural and forced convection ( $m_1 = 0.01$  kg/s and  $m_2 = 0.015$  kg/s) was applied to PV/T collectors with and without fins. The thermodynamic analysis of all systems and the sustainability index (SI), which is a function of exergy efficiency, were examined. According to the results obtained, the increase in mass flow rate and the integration of the fins had a positive effect on the output power, electrical energy and exergy of the PV / T system. The lowest output power in the system is 26.84W in the natural convection and without fin (M1), and the highest output power is 37.40W in the forced convection and with fin (M6). Comparing all PV/T collectors, the highest overall exergy efficiency is the M4 collector with natural convection and fins with 20.48%. The sustainability index (SI) values, which are a function of exergy efficiency, are higher in finned systems.

**Keywords:** Energy, exergy, fins, PV/T collector, sustainability index

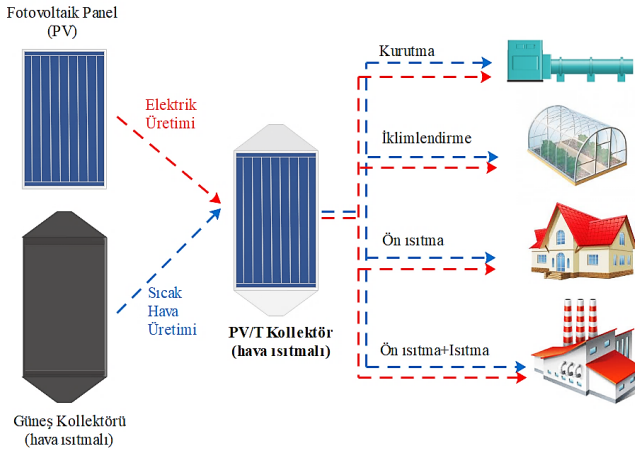
### GİRİŞ

Dünya nüfusunun her geçen gün artması ve sanayileşme ile birlikte dünyanın enerjiye olan talebi artmaktadır. Bununla birlikte enerji krizi birçok ülkede ekonomik büyümenin önünde bir engeldir. Bu sorunları çözenin en etkili yollarından biri fosil yakıt tüketiminin azaltılarak yerine daha fazla

yenilenebilir enerji sistemlerine yer verilmesidir. Ayrıca fosil yakıt ve türevlerinin kullanılması



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.931021



**Şekil 1.** PV/T kolektörü oluşturan parçalar ve kullanım alanları

ekosisteme ciddi bir şekilde zarar vererek küresel ısınmaya neden olmaktadır. Yenilebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji vb. yer almaktadır. Bu kaynaklar çevre dostu oldukları için hayati öneme sahiptirler. Güneş enerjisinden; fotovoltaik (PV) panelleri kullanarak elektrik enerjisinden, güneş kolektörlerini kullanarak termal enerjiden faydalanmak mümkündür. Bu iki farklı sistem ayrı ayrı kullanıldığından hem maliyet hem de kurulum alanının fazlalığı gibi iki temel sorunla karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerin her ikisinin de bir arada bulunduğu Fotovoltaik/Termal (PV/T) kolektörler kullanarak hem maliyetleri hem de kurulum alanı ihtiyaçlarını indirgeyebiliriz (Buonomano vd., 2013; Chow, 2010). Şekil 1’de PV ve güneş kolektörünün birleşimi olan PV/T kolektörü ve kullanım alanları verilmiştir.

Jia vd., (2019) çalışmalarında farklı çevresel koşullar ve farklı çalışma sıvıları kullanılarak oluşturulan PV/T kolektörleri üzerine bir derleme araştırmasını özetlemiştir. Bu incelemenin amacı, farklı PV/T sistemleri için uygun çevresel koşulları ve uygulamaları tanımlamaktır. Joshi ve Tiwari, (2007) hava ısıtmalı PV/T kolektörlerinin farklı iklim durumlarındaki termodinamik değerlerini incelemiştir. Bu kolektörlerin enerji verimi %55-65 arasında iken ekserji verimi %12-15 arasında yer almıştır. Nayak ve Tiwari, (2008) seraya entegre edilmiş PV/T sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Sistemin ekserji verimliliğini %4 olarak hesaplamışlardır. Agrawal ve Tiwari, (2011) hibrit mikro kanallı PV/T kolektörünün genel enerjisini ve ekserjisini analiz etmişlerdir. Rajoria vd., (2012) hava

ısıtmalı PV/T kolektörlerinde hava girişinin ve çıkışının farklı konfigürasyonları için sistemlerin ekserji verimlerini incelemiştir. Sistemlerin ekserji değerleri incelendiğinde en yüksek ekserji verimi %12.9 olarak bulunmuştur. Sarhaddi vd., (2011) PV/T hava ısıtmalı güneş kolektörünün optimum performansını ve tasarım parametrelerini belirlemek için matematiksel modelleme ile deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Giriş hava hızı ve güneş ışınım yoğunluğunun artmasıyla ekserji veriminin arttığı belirtilmiştir. Kandilli, (2019) PV ve PV/T sistemlerin çıkış performanslarını deneysel olarak araştırmıştır. PV ve PV/T sistemlerin elektriksel verimi yaklaşık %11 ve %13 olarak bulunurken ekserji verimleri yaklaşık %12 ve %14’tür. Fudholi vd., (2019)  $\nabla$ -oluklu soğurucuya sahip hava ısıtmalı PV/T kolektörünün ekserji analizi ve sürdürülebilirlik indeksini deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. PV/T sisteminin ekserji verimini %12.89, sürdürülebilirlik indeksini ise 1.148 bulmuşlardır. Fudholi vd., (2018) teorik ve deneysel çalışmalarını 300-1200 W/m<sup>2</sup> arasında değişen güneş ışınım değerlerinde ve 0.007-0.07 kg/s arasında değişen 5 farklı debide PV/T kolektörlerin termodinamik değerlerini incelemiştir. PV/T sistemin en iyi ekserji verimi 0.038 kg/s’de %12.92 olarak bulmuşlardır. Abdullah vd., (2019) hava ısıtmalı PV/T kolektörünü sayısal ve deneysel olarak araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sistemin termal verimi sayısal çalışmada yaklaşık %20 iken deneysel çalışmada bu sonuç %30’dur. Hava ısıtmalı kanatçıklı PV/T sistem ile kanatçıksız PV/T sistemin çıkış parametreleri karşılaştırıldığında kanatçıklı sistemin elektrik, enerji ve ekserji verimlerinde ciddi artışların meydana geldiği Fan vd., (2018); Özakin ve Kaya, (2019) yazarları tarafından beyan edilmiştir. Özakin ve Kaya, (2020) çalışmalarında farklı malzeme ve konfigürasyonlarda kanatçıklar kullanarak PV/T’nin elektriksel, ısıl ve ekserji verimleri deneysel olarak araştırılmış, ısıl ve ekserji verimliliklerini etkileyen kontrol parametrelerinin optimizasyon analizi yapılmıştır. Hem monokristal hem de polikristal panellerde bakır, alüminyum ve pirinç malzemelerden yapılan kanatların sık ve seyrek konfigürasyonlarına göre deneyler yapılmış ve kanatsız (boş) durumla karşılaştırılmıştır. Hem sık hem de seyrek kanatçık konfigürasyonları için verimlilik değerleri, kanatsız duruma kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca, kanatçık malzemelerinin verim değerlerine olan en iyi etki sıralanışı bakır, alüminyum ve pirinç olarak belirtmişlerdir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.931021

PV panellerin verimini olumsuz yönde etkileyen faktörlerin en başında yüksek panel yüzey sıcaklığı gelmektedir. Bu negatif durumu en aza indirmek için hava ve poroz (alüminyum köpük) kanatçık kullanılarak PV panelin arka yüzeyinde oluşan atık ısı absorbe edilerek PV panelin verim değerleri ve sistemin yaşam ömrü deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca, poroz kanatçık kullanılarak PV/T kolektörlerin performansı üzerindeki etkileri araştırıldığında literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunduğu ve bu konu üzerinde inceleme yapmak isteyen araştırmacılara faydalı olacağı düşünülmektedir.

## MATERYAL VE METOT

Deneyler, Temmuz 2018'de Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bahçesinde bulutsuz hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci amacı, alüminyum köpük kanatçıklar kullanılarak doğal ve zorlanmış taşınım altında PV panelin yüzey sıcaklığını düşürmek ve PV/T kolektörün termal enerjiden faydalanabilmektir. İkinci amaç ise, doğal taşınım, zorlanmış taşınım ve kanatçık etkisinin PV/T sistemlerinin çıkış değerlerinden olan elektrik, termal, enerji ve ekserji verimlerine etkisi hesaplanırken sistemlerin sürdürülebilirlik indeksi incelenecektir.

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan PV panel, kanatçık ve termal macunun teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
<b>PV panel</b>	
Maksimum Güç ( $P_{mak}$ )	50W
Maksimum Güç Gerilimi ( $V_{mp}$ )	18.30V
Maksimum Güç Akımı ( $I_{mp}$ )	2.75A
Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	22.77V
Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	2.93A
Çalışma Sıcaklığı	-40°C +85°C
Sıcaklık Katsayısı ( $P_m$ )	-0.46%/°C
Sıcaklık Katsayısı ( $V_{oc}$ )	-0.34%/°C
Sıcaklık Katsayısı ( $I_{sc}$ )	0.045%/°C
Boyutlar (mm)	665x520x25
<b>Alüminyum köpük kanatçık</b>	
Kimyasal bileşim	%97 Al.
Hücre tipi	Kapalı hücre
Yoğunluk	0.2-0.4 g/cm <sup>3</sup>
Isıl iletkenlik	0.268 W/(mK)
<b>Termal iletken macun</b>	
Termal iletkenlik	8.5 W/(mK)
Viskozite	87 Pa.s
Yoğunluk	2.5 g/cm <sup>3</sup>

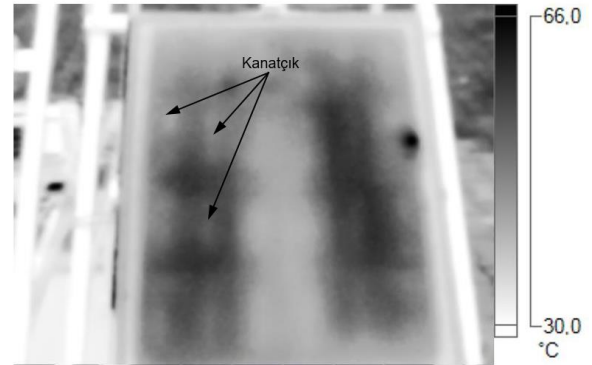
Kanatçık seçerken kolay temin ve monte edilebilir olmasının yanında ucuz, hafif ve ısı iletim katsayı

değerinin yüksek olması gerekmektedir. Bu kriterlere göre deneylerde kapalı hücre yapısına sahip alüminyum köpük kanatçıklar seçilmiştir. Bir kanatçığın boyutları 5x12 cm ve kalınlığı 1 cm'dir. Kanatçıklı PV/T kolektörlerin (M4, M5 ve M6) her birinde 24 adet olacak şekilde toplamda 72 adet poroz kanatçık kullanılmıştır. Poroz kanatçıklar her bir güneş hücresinin ortasına gelecek şekilde PV panelin arkasına termal macun yardımıyla entegre edilmiştir. Termal macunun amacı, hava boşluklarını önleyerek kanatçık ile PV panel arasındaki termal temas direncini azaltmaktır. Deney sisteminde kullanılan PV panel, alüminyum gözenekli kanatçık ve termal iletken macunun teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



(a)

(b)



(c)

**Şekil 2.** (a) Deney seti (b) kanatçık yerleşimi (c) termal kamera görüntüsü

PV/T kolektörlerinin giriş, çıkış, yüzey sıcaklıkları, çevre sıcaklıkları OMEGA marka T tipi ısı çifti kullanılarak ölçülmüştür. Isıl çiftlerin çalışma sıcaklık aralığı -200 °C ile +300 °C, hassasiyeti ±%0.5'dir. Hassasiyeti +40°C ile +80°C arasında %10 olan CMP3 model pıranometre güneş ışınım

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931021

değerleri okumak için kullanılmıştır. DT-619 model ve hava hızı çözünürlüğü 0.1 m/s olan anemometre ile rüzgar ölçümleri yapılmıştır. Deneylerdeki tüm değerler Keithley marka 2701 model 40 kanallı datalogger ile elde edilmiştir. PV/T kolektörü, kanatçıkların yerleşimi ve PV/T kanatçıklı kolektörünün 0.01 kg/s kütleli debi altındaki termal kamera görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Deneyler havanın bulutlu olmadığı ardışık üç günde gerçekleştirilmiştir. İlk gün deney setleri ve ekipmanları test edilmiştir. İkinci ve üçüncü günlerde benzer çevre şartlarındaki PV/T kolektörler test edilmiştir. İkinci günde kanatçıksız doğal ve zorlanmış taşınım altındaki PV/T kolektörler (M1, M2 ve M3), üçüncü gün ise poroz kanatçık ilave edilmiş PV/T kolektörlerin (M4, M5 ve M6) doğal ve zorlanmış taşınım altındaki sıcaklık, akım, gerilim, verim değerleri ile sürdürülebilirlik indeksi araştırılmıştır. Deneyleri gerçekleştirilen PV/T sistemlerinin kısaltması ve tanımlaması Tablo 2’de gösterilmiştir. PV/T sistemindeki havanın ısınması ve deney setinin şematik gösterimi Şekil 3’te verilmiştir.

**Tablo 2.** PV/T kolektörlerinin tanımlanması

PV/T kolektörler	Kanatçık	Debi (kg/s)
M1	Yok	DT
M2	Yok	0.01
M3	Yok	0.015
M4	Var	DT
M5	Var	0.01
M6	Var	0.015

### Enerji Analizi

Bir PV/T kolektörünün sistem performansı termal ve elektriksel verimliliklerinin toplamı olarak gösterilmektedir. PV/T kolektörlerinin toplam performansını belirlemek veya ifade etmek için genel verimlilik ifadesi kullanılır ve aşağıdaki eşitlikten yararlanılır (Hossain vd., 2019; Joe vd., 2015).

$$\eta_{I,pv/t} = \eta_{term} + \eta_{el} \quad (1)$$

PV/T kolektörünün ısı verimi aşağıdaki formülle hesaplanır (Arslan vd., 2020; Hossain vd., 2019):

$$\eta_{term} = \frac{\dot{Q}_u}{I_s A} \quad (2)$$

Bu eşitlikteki  $\dot{Q}_u$  ise

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_\zeta - T_g) \quad (3)$$

veya

$$\dot{Q}_u = h_{ca} A (T_h - T_\zeta) \quad (4)$$

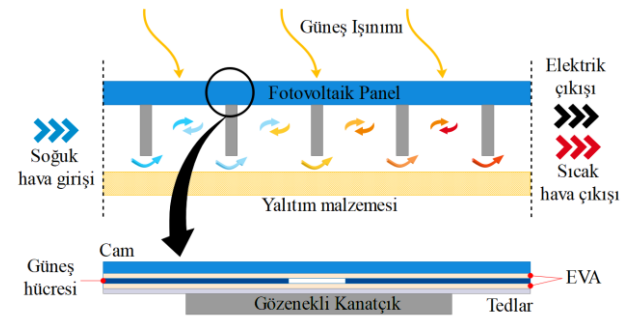
$$h_{ca} = 5.7 + 3.8v \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Bir PV panelin enerji dönüşüm verimliliği, dönüştürülen ve geri kazanılan enerjinin yüzdesi olarak ifade edilir (Bayrak vd., 2017).

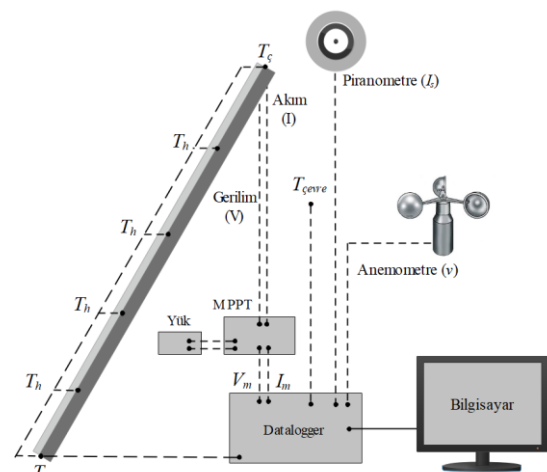
$$\eta_{el} = \frac{P_{mak}}{I_s A} \quad (6)$$

Sistemin maksimum çıkış gücünü hesaplamak için Eşitlik (7) kullanılabilir.

$$P_{mak} = I_{mak} V_{mak} \quad (7)$$



(a)



(b)

**Şekil 3.** Şematik gösterim (a) PV/T kolektör (b) Deney seti

### Enerji Analizi

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931021

Bir PV/T kolektörünün sistem performansı termal ve elektriksel verimliliklerinin toplamı olarak gösterilmektedir. PV/T kolektörlerinin toplam performansını belirlemek veya ifade etmek için genel verimlilik ifadesi kullanılır ve aşağıdaki eşitlikten yararlanılır (Hossain vd., 2019; Joe vd., 2015).

$$\eta_{I,pv/t} = \eta_{term} + \eta_{el} \quad (1)$$

PV/T kolektörünün ısı verimi aşağıdaki formülle hesaplanır (Arslan vd., 2020; Hossain vd., 2019):

$$\eta_{term} = \frac{\dot{Q}_u}{I_s A} \quad (2)$$

Bu eşitlikteki  $\dot{Q}_u$  ise

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_\zeta - T_g) \quad (3)$$

veya

$$\dot{Q}_u = h_{ca} A (T_h - T_\zeta) \quad (4)$$

$$h_{ca} = 5.7 + 3.8v \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Bir PV panelin enerji dönüşüm verimliliği, dönüştürülen ve geri kazanılan enerjinin yüzdesi olarak ifade edilir (Bayrak vd., 2017).

$$\eta_{el} = \frac{P_{mak}}{I_s A} \quad (6)$$

Sistemin maksimum çıkış gücünü hesaplamak için Eşitlik (7) kullanılabilir.

$$P_{mak} = I_{mak} V_{mak} \quad (7)$$

### Ekserji analizi

Enerji analizi, sistemler için yalnızca nicel bir analiz sağlar ve bir sistemin performansı hakkında kesin bir sonuca varmak için tek başına yeterli değildir. Bu yüzden enerji sistemlerinin ekserji analizi yapılarak enerjinin nicel ve nitel bir analizini sağlanmış olur. Ekserji, PV/T kolektöründen sağlanabilecek en yüksek kullanım potansiyelidir ve enerjinin kalitesine karşılık gelir. PV/T sistemin ekserji verimliliği (Bayrak and Oztop 2020; Hepbasli 2008; Petela 2008);

$$\eta_{II,pv/t} = \frac{Ex_\zeta}{Ex_g} \quad (8)$$

çıkış ekserjisinin giriş ekserjisine oranı olarak tanımlanır. Eşitlik (9)'de PV/T sisteminin giriş ekserjisi ifade etmektedir.

$$Ex_g = I_s A \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_\zeta}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{T_\zeta}{T_s} \right)^4 \right] \quad (9)$$

Buradaki  $T_\zeta$  ve  $T_s$  sırasıyla çevre ve güneş sıcaklıklarıdır (K). Güneş sıcaklığı 5777 K alınmıştır. Sistemin çıkış ekserjisi, termal ve elektrik ekserjilerini içermektedir (Bayrak vd., 2019; Sukumaran ve Sudhakar, 2018).

$$Ex_\zeta = Ex_{term} + Ex_{el} \quad (10)$$

PV/T sisteminin termal ve elektrik ekserjileri (Arslan vd., 2020; Bayrak vd., 2020, 2017a)

$$Ex_{term} = Q \left( 1 - \frac{T_\zeta}{T_h} \right) \quad (11)$$

$$Ex_{el} = I_{mak} V_{mak} = P_{mak} \quad (12)$$

eşitliklerinden faydalanarak hesaplayabiliriz. Eşitlik (11)'deki  $Q$  çevreye yayılan ısıdır. Toplam ısı kaybı katsayısı ( $U$ ), taşınım ve ışımandan kaynaklı kayıpları içermekte olup aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır. (Arslan vd., 2020; Hossain vd., 2019; Shukla vd., 2015)

$$Q = UA(T_h - T_\zeta) \quad (12)$$

$$U = h_{conv} + h_{rad} \quad (13)$$

$$h_{conv} = 2.8 + 3v \quad (14)$$

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_{sky} + T_h) (T_{sky}^2 + T_h^2) \quad (15)$$

$$T_{sky} = 0.0552 (T_\zeta)^{1.5} \quad (16)$$

Kaynakların verimli ve etkin kullanımı için bir sürdürülebilirlik analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilirlik indeksi (SI) gibi ekserji

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931021

sürdürülebilirlik göstergeleri, belirli bir ekserji girdisi için bir süreçteki tersinmezlikleri ve ekserji kayıplarını ele alır. Termodinamik performans, bu göstergeler aracılığıyla daha iyi değerlendirilebilir. Ekserji kayıpları arttıkça, SI azalmaktadır. Başka bir deyişle SI, sistemin ömrünü açıklar ve aşağıdaki gibi açıklanabilir (Bayrak vd., 2013; Mugi ve Chandramohan, 2021; Oztop vd., 2013).

$$SI = \frac{1}{1 - \eta_{II}} \quad (17)$$

### Belirsizlik analizi

Holman (Holman, J.P., 1994) tarafından açıklanan yöntem kullanılarak bir belirsizlik analizi sisteme uygulanmıştır. Deneylerde,  $n$  bağımsız parametrenin ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) ölçülen değerlerini, ( $R$ ) ise etkin parametreleri tanımlanır. Her bağımsız değişken ve hesaplanan değişkenler için hata oranı  $W_1, W_2, \dots, W_n$  olarak elde edilir. Ayrıca  $W, R$ 'nin hata oranı olarak tanımlanır. Tablo 3'de ölçülen değerlerin belirsizlik analizi verilmiştir.

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (18)$$

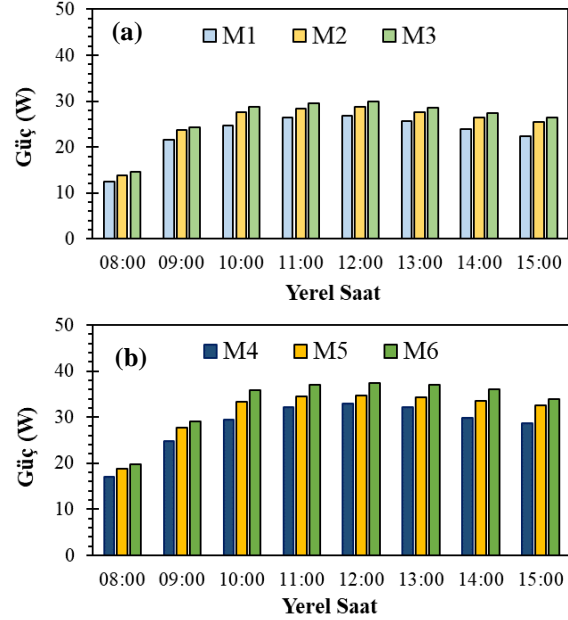
**Tablo 3.** Ölçülen değerlerin belirsizlik analizi

Değişkenler	Birim	Sonuçlar
Çevre sıcaklığı	°C	±1.05
PV panel sıcaklığı	°C	±1.15
Rüzgar hızı	ms <sup>-1</sup>	±0.21
Güneş ışıması	Wm <sup>-2</sup>	±0.09
PV güç	W	±0.82

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerji analizi, girdi enerjisinin nasıl kullanıldığını ve enerji tüketimine en çok katkıda bulunan sistemlerin hangileri olduğunu gösteren özet bir tablo sunmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak, PV/T kolektörlerinin elektrik çıkış gücü, elektrik verimliliği, termal verimlilik gibi farklı enerji parametrelerindeki değişimi, güneş ışıması, hücre sıcaklığı, kanatçığın ve kütleli debinin bir fonksiyonu olarak analiz edilerek bunlardan hangilerinin PV/T sistemlerinin enerji performansı üzerinde belirgin etkisinin olduğu incelenmiştir. Deneyler, havanın bulutlu olmadığı ardışık üç günde gerçekleştirilmiştir. Günler arasındaki en yüksek

sıcaklık farkı 1 °C, en yüksek ışıma farkı 7 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.



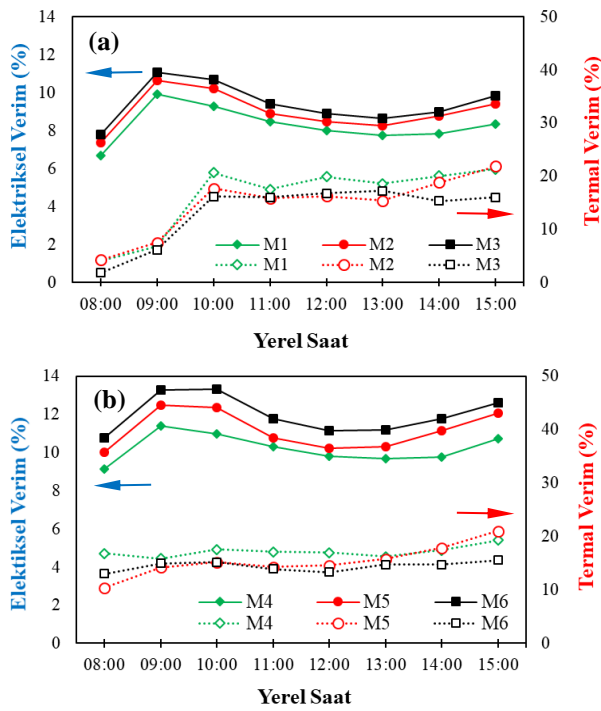
**Şekil 4.** PV/T sistemlerinin çıkış güçlerinin değişimi (a) kanatçıksız (b) kanatçıklı

Şekil 4 (a ve b)'te kanatçıklı ve kanatçıksız PV/T kolektörlerinin doğal ve zorlanmış taşınım durumlarında elde edilen çıkış güçlerinin zamana karşı değişimi verilmiştir. Kanatçıklı ve kanatçıksız sistemlerde kütleli debinin artmasıyla ya da soğutma etkisiyle çıkış gücünde artış meydana gelmiştir. Kanatçıksız sistemlerde (M1, M2 ve M3) en yüksek çıkış güçleri sırasıyla 26.84 W, 28.81 W, 29.9 W, kanatçıklı sistemlerde (M4, M5 ve M6) en yüksek çıkış güçleri sırasıyla 32.88 W, 34.71 W, 37.40 W'tır.

Şekil 5'de yer alan eğriler kanatçıklı ve kanatçıksız PV/T kolektörlerinin elektriksel ve termal verim değerlerinin zamana göre değişimini ifade etmektedir. Şekil 5'de dolgu göstergeli ve düz çizgili eğriler (mavi ok ile gösterilmiştir) PV/T kolektörlerin elektriksel verimlerini, dolgunsuz ve kesik çizgili eğriler ise (kırmızı ok ile gösterilmiştir) termal verimleri göstermektedir. Şekil 5 (a)'da kanatçıksız sistemlerin verim değişimleri görülmekte olup kütleli debi değeri arttıkça elektrik verimi artmış, termal verimde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Zorlanmış taşınımındaki kütleli debi etkisi panel yüzeyinin soğumasına neden olarak elektrik verimine pozitif etki göstermiş, termal verimde ise olumlu etki göstermemiştir. Şekil 5 (b)'de ise kanatçıklı PV/T sisteminin verim değerlerinin değişimi verilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931021

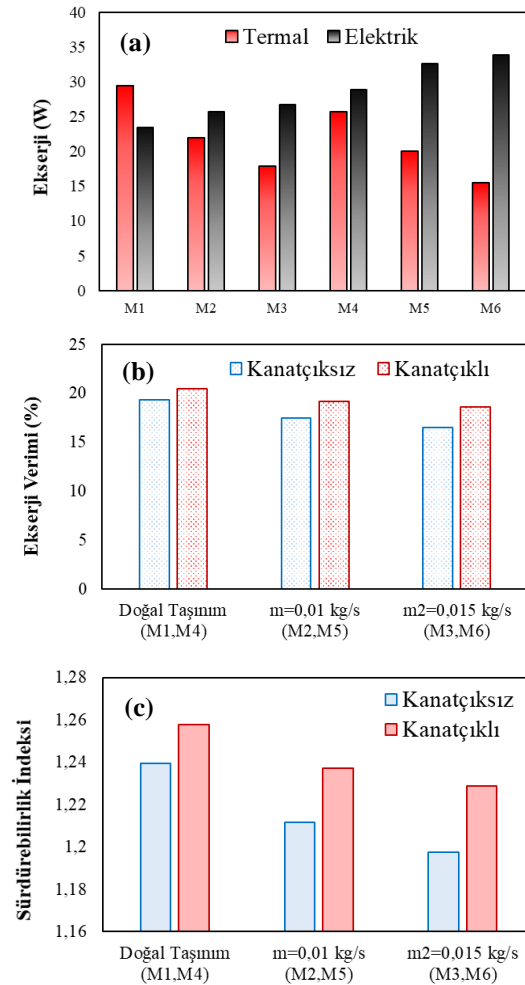
Kanatçıklı ve kanatçıksız sistemlerin verim değerleri karşılaştırıldığında kanatçıklı sistemlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kanatçıksız PV/T kolektörlerinin (M1, M2 ve M3) elektriksel verimleri sırasıyla %8.34, %9.07, %9.51, kanatçıklı PV/T kolektörlerinin (M4, M5 ve M6) elektriksel verimleri sırasıyla %10.27, %11.12, %12'dir. Kanatçıksız PV/T kolektörlerinin termal verimleri sırasıyla %16.48, %15.59, %13.85, kanatçıklı PV/T kolektörlerinin termal verimleri sırasıyla %17.28, %15.96, %14.62'dir.



Şekil 5. PV/T sistemlerinin elektriksel ve termal verimlerinin değişimi (a) kanatçıksız (b) kanatçıklı

Şekil 6 (a)'da PV/T kolektörlerinin elektriksel ve termal ekserji değerleri verilmiştir. Elektrik ekserji hem kanatçık uygulamasında hem de doğal taşınımdan zorlanmış taşınıma geçmesi ile birlikte artmaktadır. PV/T kolektörlerinin elektriksel ekserji değerleri sırasıyla 23.47W, 25.70W, 26.73W, 28.86W, 32.58W ve 33.90W'tır. Termal ekserji değerlerinde ise zorlanmış taşınımin kütledebini etkisiyle kanatçıklı ve kanatçıksız sistemlerde düşüş yaşanmıştır. Şekil 6 (b)'de PV/T sistemlerinin ekserji verimlerinin ortalama değerleri verilmiştir. Doğal ve zorlanmış taşınımlarda kanatçıklı sistemlerin genel ekserji verimi kanatçıksız sistemin genel ekserji veriminden daha yüksek çıkmıştır. Doğal taşınımin

uygulandığı (M1 ve M4) sistemlerinde %5.65,  $\dot{m}_1$  kütledebisindeki (M2 ve M5) sistemlerinde %8.89,  $\dot{m}_2$  kütledebisindeki (M3 ve M6) sistemlerinde %11.37 ekserji verim artışı sağlanmıştır. Şekil 6 (c)'de PV/T sistemlerinin Sürdürülebilirlik İndeksi (SI) gösterilmiştir. Ekserji kayıpları azaldıkça Sürdürülebilirlik İndeksi artmaktadır. Buna göre, kanatçıklı sistemlerin kanatçıksız sistemlere göre SI yüksek çıkmaktadır. En yüksek SI artış oranı ise M3 ve M6 arasında olmuştur.



Şekil 6. PV/T sistemlerin (a) Ortalama elektriksel ve termal ekserji değerleri (b) PV/T sistemlerin ekserji verimleri (c) Sürdürülebilirlik İndeksi

## SONUÇLAR

Bu çalışmada hava ısıtmalı PV/T kolektörü ile gözenekli alüminyum kanatçık entegre edilmiş hava ısıtmalı PV/T kolektörlerinin doğal ve zorlanmış

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.931021

taşınım ( $\dot{m}_1 = 0.01$  kg/s ve  $\dot{m}_2 = 0.015$  kg/s) altında termodinamik analizi ve sürdürülebilirlik indeksi incelenmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar sıralanabilir;

- Isı iletim hızı maddenin türüne, kesit alanına, ısının iletiildiği uçlar arasındaki sıcaklık farkına ve maddenin kalınlığına bağlı olduğu göz önünde bulundurulursa bu çalışmada seçilen poroz kanatçık PV/T sistemindeki PV panelde oluşan atık ısının uzaklaştırılmasında pozitif etki etmiştir.
- Kanatçık ilave edilmesi ve kütleli debinin artması tüm sistemlerin elektriksel verimlere pozitif etki etmiştir.
- PV/T kolektörde, PV panelin arka yüzeyine entegre edilen poroz kanatçıklar tüm sistemlerde (M1-M6) çıkış gücünün artmasına neden olmuştur. Ayrıca, sistemdeki kütleli debinin artmasıyla da çıkış güçlerinde artış meydana gelmiştir. Sistemdeki en düşük çıkış gücü kanatçiksiz ve doğal taşınımında (M1) 26.84W, en yüksek çıkış gücü kanatçıklı ve zorlanmış taşınımında (M6) 37.40W'tır.
- Tüm PV/T kolektörleri karşılaştırıldığında en yüksek genel ekserji verimi %20.48 ile doğal taşınımlı ve kanatçıklı M4 kolektörü olmuştur.
- En yüksek enerji verimi kanatçıklı M6 deneyinden elde edilmiştir.
- Tüm sistemlerin ekserji verimleri değerlendirildiğinde kanatçık ilavesi sisteme pozitif etki etmiştir.
- Kanatçıklı sistemlerin ekserji verimi kanatçiksiz sistemlere göre daha iyi olduğundan sürdürülebilirlik indeksi daha yüksek çıkmaktadır.

### Semboller ve Kısaltmalar

$A$	kolektörün alanı (m <sup>2</sup> )
$c_p$	özgül hava ısısı (J/kgK)
$Ex$	ekserji (W)
$h_{ca}$	ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$I$	akım (A)
$I_s$	güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )
$P$	güç (W)
$T$	sıcaklık (°C)
$V$	gerilim (V)
$v$	rüzgar hızı (m/s)
$\dot{Q}_u$	yararlı enerji (W)

$\dot{m}$	kütleli debi (kg/s)
$\eta_I$	enerji verimi
$\eta_{II}$	ekserji verimi
$\zeta$	çıkış
$DT$	doğal taşınım
$el$	elektrik
$g$	giriş
$pv/t$	fotovoltaik/termal
$SI$	sürdürülebilirlik indeksi
$term$	termal

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar 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

- Abdullah, A. L., Misha, S., Tamaldin, N., Rosli, M. A. M., and Sachit, F. A. 2019. "Numerical Analysis of Solar Hybrid Photovoltaic Thermal Air Collector Simulation by ANSYS." *CFD Letters* 11(2):1–11.
- Agrawal, S., and Tiwari, G. N. 2011. "Energy and Exergy Analysis of Hybrid Micro-Channel Photovoltaic Thermal Module." *Solar Energy* 85(2):356–70. doi: 10.1016/j.solener.2010.11.013.
- Arslan, E., Aktaş, M., and Can, Ö. F. 2020. "Experimental and Numerical Investigation of a Novel Photovoltaic Thermal (PV/T) Collector with the Energy and Exergy Analysis." *Journal of Cleaner Production* 276:123255. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123255.
- Bayrak, F., Oztop, H. F., and Hepbasli, A. 2013. "Energy and Exergy Analyses of Porous Baffles Inserted Solar Air Heaters for Building Applications." *Energy and Buildings* 57. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.10.055.
- Bayrak, F., Abu-Hamdeh, N., Alnefaie, K. A., and Öztot, H. F. 2017. "A Review on Exergy Analysis of Solar Electricity Production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74:755–70. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.012.
- Bayrak, F., Ertürk, G., and Oztot, H. F. 2017. "Effects of Partial Shading on Energy and Exergy Efficiencies for Photovoltaic Panels." *Journal of Cleaner Production* 164:58–69. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.108.
- Bayrak, F., and Oztot, H. F. 2020. "Effects of Static and Dynamic Shading on Thermodynamic and Electrical

Research article/Araştırma makalesi

DOI: 10.29132/ijpas.931021

- Performance for Photovoltaic Panels.” *Applied Thermal Engineering* 169(December 2019):114900. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.114900.
- Bayrak, F., Oztop, H. F., and Selimefendigil, F. 2019. “Effects of Different Fin Parameters on Temperature and Efficiency for Cooling of Photovoltaic Panels under Natural Convection.” *Solar Energy* 188:484–94. doi: 10.1016/j.solener.2019.06.036.
- Bayrak, F., Oztop, H. F., and Selimefendigil, F. 2020. “Experimental Study for the Application of Different Cooling Techniques in Photovoltaic (PV) Panels.” *Energy Conversion and Management* 212(February):112789. doi: 10.1016/j.enconman.2020.112789.
- Buonomano, A., Calise, F., Dentice d’Accadia, M., and Vanoli, L. 2013. “A Novel Solar Trigeneration System Based on Concentrating Photovoltaic/Thermal Collectors. Part 1: Design and Simulation Model.” *Energy* 61:59–71. doi: 10.1016/j.energy.2013.02.009.
- Chow, T. T. 2010. “A Review on Photovoltaic/Thermal Hybrid Solar Technology.” *Applied Energy* 87(2):365–79. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.06.037.
- Fan, W., Kokogiannakis, G., and Ma, Z. 2018. “A Multi-Objective Design Optimisation Strategy for Hybrid Photovoltaic Thermal Collector (PVT)-Solar Air Heater (SAH) Systems with Fins.” *Solar Energy* 163(February):315–28. doi: 10.1016/j.solener.2018.02.014.
- Fudholi, A., Zohri, M., Jin, G. L., Ibrahim, A., Yen, C. H., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., and Sopian, K. 2018. “Energy and Exergy Analyses of Photovoltaic Thermal Collector with  $\nabla$ -Groove.” *Solar Energy* 159(November 2016):742–50. doi: 10.1016/j.solener.2017.11.056.
- Fudholi, A., Zohri, M., Rukman, N. S. B., Nazri, N. S., Mustapha, M., Yen, C. H., Mohammad, M., and Sopian, K. 2019. “Exergy and Sustainability Index of Photovoltaic Thermal (PVT) Air Collector: A Theoretical and Experimental Study.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 100(July 2018):44–51. doi: 10.1016/j.rser.2018.10.019.
- Hepbasli, A. 2008. “A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(3):593–661. doi: 10.1016/j.rser.2006.10.001.
- Holman, J.P., 1994. *Experimental methods for engineers*, 6th ed. Singapore: McGraw Hill.
- Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Abd Rahim, N., Rivai, A., and Tyagi, V. V. 2019. “Thermal Performance Analysis of Parallel Serpentine Flow Based Photovoltaic/Thermal (PV/T) System under Composite Climate of Malaysia.” *Applied Thermal Engineering* 153(January):861–71. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.01.007.
- Jia, Y., Alva, G., and Fang, G. 2019. “Development and Applications of Photovoltaic–Thermal Systems: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 102(November 2018):249–65. doi: 10.1016/j.rser.2018.12.030.
- Joe, J., Iniyar, S., and Goic, R. 2015. “Flat Plate Solar Photovoltaic – Thermal ( PV / T ) Systems : A Reference Guide.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51:62–88. doi: 10.1016/j.rser.2015.06.022.
- Joshi, A. S., and Tiwari, A. 2007. “Energy and Exergy Efficiencies of a Hybrid Photovoltaic–Thermal (PV/T) Air Collector.” *Renewable Energy* 32(13):2223–41. doi: 10.1016/j.renene.2006.11.013.
- Kandilli, C. 2019. “A Comparative Study on the Energetic-Exergetic and Economical Performance of a Photovoltaic Thermal System (PVT).” *Research on Engineering Structures and Materials* (1):75–89. doi: 10.17515/resm2019.90en0117.
- Mugi, V. R., and Chandramohan, V. P. 2021. “Energy and Exergy Analysis of Forced and Natural Convection Indirect Solar Dryers: Estimation of Exergy Inflow, Outflow, Losses, Exergy Efficiencies and Sustainability Indicators from Drying Experiments.” *Journal of Cleaner Production* 282:124421. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124421.
- Nayak, S., and Tiwari, G. N. 2008. “Energy and Exergy Analysis of Photovoltaic/Thermal Integrated with a Solar Greenhouse.” *Energy and Buildings* 40(11):2015–21. doi: 10.1016/j.enbuild.2008.05.007.
- Özakin, A. N., and Kaya, F. 2019. “Effect on the Exergy of the PVT System of Fins Added to an Air-Cooled Channel: A Study on Temperature and Air Velocity with ANSYS Fluent.” *Solar Energy* 184(December 2018):561–69. doi: 10.1016/j.solener.2019.03.100.
- Özakin, A. N., and Kaya, F. 2020. “Experimental Thermodynamic Analysis of Air-Based PVT System Using Fins in Different Materials: Optimization of Control Parameters by Taguchi Method and ANOVA.” *Solar Energy* 197(September 2019):199–211. doi: 10.1016/j.solener.2019.12.077.
- Oztop, H. F., Bayrak, F., and Hepbasli, A. 2013. “Energetic and Exergetic Aspects of Solar Air Heating (Solar Collector) Systems.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21. doi: 10.1016/j.rser.2012.12.019.
- Petela, R. 2008. “An Approach to the Exergy Analysis of Photosynthesis.” *Solar Energy* 82(4):311–28. doi: 10.1016/j.solener.2007.09.002.
- Rajoria, C. S., Agrawal, S., and Tiwari, G. N. 2012. “Overall Thermal Energy and Exergy Analysis of Hybrid Photovoltaic Thermal Array.” *Solar Energy* 86(5):1531–38. doi: 10.1016/j.solener.2012.02.014.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., and Behzadmehr, A. 2011. “Exergetic Optimization of a Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collector.”



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.931021

*International Journal of Energy Research*  
35(9):813–27. doi: 10.1002/er.1727.

- Shukla, A., Khare, M., and Shukla, K. N. 2015. “Experimental Exergetic Performance Evaluation of Solar PV Module.” *International Journal of Scientific and Research Publications* 5(1):1–9.
- Sukumaran, S., and Sudhakar, K. 2018. “Performance Analysis of Solar Powered Airport Based on Energy and Exergy Analysis.” *Energy* 149:1000–1009. doi: 10.1016/j.energy.2018.02.095.

## Uzunçayır Baraj Gölü Güncel Zooplanktonunun Bazı Su Kalite Parametreleri ile Değerlendirilmesi

Hilal Bulut<sup>1\*</sup>, Ahmet Sesli<sup>2</sup>, Rıdvan Tepe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup> Elazığ Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Elazığ, Türkiye

\*hilalhaykir@gmail.com<sup>ID</sup>, ahmet.sesli@tarimorman.gov.tr<sup>ID</sup>, 23rtepe@gmail.com<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi:24.05.2021, Makale kabul tarihi: 03.08.2021

### Öz

Uzunçayır Baraj Gölü'nde, Nisan 2017-Mart 2018 tarihlerinde alınan zooplankton örneklerinde 28 tür Rotifera'dan, 5 tür Cladocera'dan ve 3 tür Copepoda'dan olmak üzere toplam 36 tür teşhis edilmiştir. *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta oblonga*, *Synchaeta pectinata*, *Polyarthra dolichoptera* en fazla kaydedilen türlerdir. Bazı su kalite parametreleri ölçülmüştür. Uzunçayır Baraj Gölünde elde edilen sonuçlara göre su sıcaklığı 3,8-27,1°C, pH 8,1-9,6, çözünmüş oksijen 6,4-12,2 mg/L, elektriksel iletkenlik 223-422 (µS/cm) ve seki diski derinliği en yüksek 5,5 m olarak değişim göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rotifera, Cladocera, Copepoda, bazı su kalite parametreleri

## The Assesment of Current Zooplankton in Uzunçayır Dam Lake with Some Water Quality Parameters

### Abstract

In the zooplankton samples taken between April 2017-March 2018 in Uzunçayır Dam Lake, a total of 36 species, 28 species from Rotifera, 5 species from Cladocera and 3 species from Copepoda, were recorded. *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta oblonga*, *Synchaeta pectinata*, *Polyarthra dolichoptera* are the most recorded species. Some water quality parameters have been measured. The results showed that the water temperature in Uzunçayır Dam Lake was 3.8-27.10°C, pH 8.1-9.6, dissolved oxygen 6.4-14.2 mg / L, electrical conductivity 223-422 (µS / cm) and the secchi depth changed to the highest 5.5 m.

**Keywords:** Rotifera, Cladocera, Copepoda, Some water quality parameters

### GİRİŞ

Zooplankton su kalitesinin saptanmasında, sucul habitatların trofik düzeyinin tespitinde ve bir alanda, evsel, endüstriyel kanalizasyon atıklarından meydana gelen, kirliliğin indikatörü olarak kullanımları dışında, bir su ekosisteminde balık, omurgasız ve ara ara da kuşların yiyeceklerini teşkil etmelerinden dolayı oldukça önemlidir (Bidder 1981; Saksena 1987; Marneffe vd. 1998; Michaloudi vd. 1997).

Farklı zooplankton grupları, sucul ekosistem bileşenlerini değiştiren antropojenik kaynaklı ötrofikasyona, evsel ve sanayi kaynaklı kirliliğe karşı hassas olmaları nedeniyle bu organizmaların gözlenmesi, dağılımı ve bolluğunun araştırılması sucul ekosistemler için oldukça önemlidir (Siokou-

Frangou vd. 1998; Kamburska vd. 2003; Shiganova 2005; Vidjak vd. 2006).

Sucul habitatlar birden fazla fiziksel ve kimyasal değişkenin etkisi ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu değişkenler suda yaşayan organizmaları etkilemektedir. Plankton yaşadıkları su kaynaklarındaki ekosistemle devamlı ilişki içindedir. Plankton genel olarak suların pelajik kısmında yaşar (Gannon ve Stemberger 1978; Sladeczek 1983).

Tatlı sularda ikinci besin piramidi halkasını oluşturan zooplanktonik organizmalar, madde ve enerji döngüsünün sürekliliğinin sağlanmasında önemlidir. Bu açıdan özellikle tatlı su rezervlerindeki zooplanktonun önemli kısmını

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.938647

oluşturan rotiferlerin payı oldukça fazladır (Kaya ve Altındağ 2007). Rotiferler tatlısulara besin döngüsünde önemli bir role sahiptirler. Büyük nehir ekosistemleri içerisinde zooplanktonik türlerin sayıca fazla olduğu gösterilmiştir. (Wallace ve Snell 1991).

Bu araştırmanın amacı, Uzunçayır Baraj Gölü'nde güncel zooplankton faunasını belirlemenin yanı sıra yıllık değişiklikleri tanımlamak ve gölün geçmiş yıllardaki durumu ile mukayese yapabilmek, sonuçları önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmaktır. Bu bölgede daha önce farklı su kaynakları da dahil olmak üzere yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur (Çoban vd. 2013; ; Saler vd. 2014; Erkil vd.2015; Özcan 2019; Özcan 2020).

## MATERYAL VE METOT

### Çalışma Alanı

Uzunçayır Barajı, Tunceli'de Munzur Suyu üzerinde, 1996 ile 2003 tarihleri arasında yapılmış olup enerji üretmek amacıyla kurulmuş bir barajdır. Kaya gövde dolgu tipinde olan, baraj 551.000 m<sup>3</sup> gövde hacmine sahip olup 70,00 m akarsu yatağından yüksekliği, göl hacmi normal su kotunda 308,00 hm<sup>3</sup>, normal su kotunda göl alanı 13,43 km<sup>2</sup>'dir (DSİ 2021). İstasyonların seçimi için ana giriş kısım, orta kısım, ana mansabın arka kısmı ve barajdan sonraki çıkış kısmı olacak şekilde örnekleme yapılmıştır (Şekil 1).

Bu barajın faaliyete girmesiyle beraber buraya gelen kirleticilerin (kayaçlardan yıkanan elementler, sızıntı suyu yani ilin düzensiz katı atık sahasından kaynaklanan, evsel sıvı atık vs.,) neden olduğu kirlilik neticesinde bu baraj gölünün su kalite değerlerinde olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Ayrıca yeni şehirleşme hareketliliği baraj göl çevresinde başlamıştır. Bu nedenle 2012 de Tunceli Belediyesi bünyesinde faaliyete geçmiş olan kentsel atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır (Boztuğ vd. 2012).

### Bazı Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Ölçümü

Uzunçayır Baraj Gölü'nün bazı fiziksel, kimyasal parametreleri ile biyolojik özelliklerini incelemek için çalışma süresince her ay arazide ölçümler kaydedilmiştir. Sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH değerleri ve elektriksel iletkenlik çalışma boyunca her numune alınımında anında arazide ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, sıcaklık ve

pH istasyon noktalarında YSI 6600 V2 model ölçüm aleti ile ışık geçirgenliği ise Secchi diski ile örnekleme alanında ölçülmüştür

### Zooplankton Örneklerinin Alınması ve Teşhis Edilmesi

Uzunçayır Baraj Gölü zooplanktonunu tespit edip güncel faunayı oluşturmak amacıyla Nisan 2017-Mart 2018 tarihleri arasında aylık numuneler alınmıştır. Göz açıklığı 55 µ olan plankton ağıyla 5'er defa numune alınıp 250 ml'lik kavanozlara konularak en kısa zamanda laboratuara getirilmiştir. Örnekler % 4'lük formaldehite konulup muhafaza edilmiştir. Zooplankton numuneleri Leitz marka inverted mikroskop altında incelenerek ve ilgili kaynaklardan (Edmondson 1959; Grasse 1965; Kolisko 1974; Koste 1978a, 1978b; Dumont ve De Ridder 1987; Negrea 1983; Einsle 1996) faydalanılarak Rotifera, Cladocera ve Copepoda'nın tür teşhisi yapılmıştır. Herhangi deformasyon olması ihtimaline karşı geçici preparat hazırlanırken, zooplanktonun teşhisini doğru yapabilmek için kalıcı preparatlar hazırlanmıştır.

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Uzunçayır Barajında Rotifera'dan 28, Cladocera'dan 5 ve Copepoda'dan 3 tür olmak üzere toplamda 36 tür teşhis edilmiştir. Türlerin isimleri aşağıda sıralanmıştır. Baraj gölünden kaydedilen zooplankton türlerinin aylık dağılımları tablolar halinde verilmiştir (Tablo 1-4).

#### Rotifera

*Ascomorpha ecuadis* Petry, 1850  
*Ascomorpha saltans* Bartsch, 1870  
*Asplanchna priodonta* Gosse, 1850  
*Asplanchna sieboldi* (Leydig, 1854)  
*Asplanchna girodi* de Guerne, 1888  
*Cephalodella gibba* (Ehrenberg, 1830)  
*Colurella colurus* (Ehrenberg, 1830)  
*Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832  
*Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834)  
*Filinia terminalis* (Plate, 1886)  
*Gastropus stylifer* (Imhof, 1891)  
*Keratella cochlearis* (Gosse, 1851)  
*Keratella quadrata* (Müller, 1786)  
*Lecane furcata* (Murray, 1913)  
*Lecane luna* (Müller, 1776)  
*Lecane lunaris* (Ehrenberg, 1832)  
*Lecane stenroosi* (Meissner, 1908)  
*Lepadella ovalis* (Müller, 1786)

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.938647

*Notholca acuminata* (Ehrenberg, 1832)  
*Notholca squamula* (Müller, 1786)  
*Notommata glyphura* Wulfert, 1935  
*Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925  
*Proales decipiens* (Ehrenberg, 1832)  
*Synchaeta oblonga* Ehrenberg, 1832  
*Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832  
*Trichocerca capucina* (Wierzejski & Zacharias, 1893)  
*Trichocerca similis* (Wierzeski, 1893)  
*Trichotria tetractis* (Ehrenberg, 1830)

### Cladocera

*Alona guttata* Sars, 1862  
*Bosmina longirostris* (O.F.Müller, 1785)  
*Chydorus sphaericus* (O.F.Müller, 1776)  
*Daphnia cucullata* Sars, 1862  
*Moina macrocopa* (Straus, 1820)

### Copepoda

*Acanthodiptomus denticornis* (Wierzejski, 1887)  
*Acanthocyclops robustus* (G.O.Sars, 1863)  
*Cyclops vicinus* Uljanin, 1875

1.istasyonda kaydedilen türlerden en önemlisi Rotifera'dan *A. priodonta* ve *S. pectinata* olmuştur. Her iki tür de 8 ay boyunca kaydedilmiştir. Bu türü takip eden ve 5 ay ortaya çıkan tür *K. cochlearis* olmuştur. Cladocera dan ise *B. longirostris* ve *D. cucullata* Ekim ayında gözlemlenmiş olup başka bir türe rastlanılmamıştır. Copepoda'dan ise *A. robustus* en sık gözlemlenen organizma olmuştur (Tablo 1).

2.istasyonda kaydedilen türlerden en önemlisi Rotifera'dan *P. dolichoptera* olmuştur. Tür 8 ay boyunca tespit edilmiştir. Bu türü 6 ay ortaya çıkan *K. cochlearis* takip etmiştir. Cladocera'dan ise *B. longirostris* olup Copepoda'dan ise *A. denticornis* ve *C. vicinus*'tan başka organizmaya rastlanılmamıştır (Tablo 2).

3. istasyonda kaydedilen türlerden en önemlisi Rotifera'dan *P. dolichoptera*'dır . Tür 10 ay boyunca

kaydedilmiştir. *S. oblonga* 7 ay boyunca tespit edilmiştir. Cladocera dan ise *Bosmina longirostris* olup Copepoda'dan ise sadece *Cyclops vicinus* kaydedilmiştir (Tablo 3).

4.istasyonda kaydedilen türlerden en önemlisi Rotifera'dan *Polyarthra dolichoptera* dır. Bu tür 9 ay süresince kaydedilmiştir. *Asplanchna priodonta* bu türü 6 ay ortaya çıkararak takip etmiştir. Cladocera'dan ise *Bosmina longirostris*, *Alona guttata*, *Chydorus sphaericus* aynı sıklıkla bulunmuş olup Copepoda'dan ise sadece *Cyclops vicinus* kaydedilmiştir. Rotifer tür sayısı açısından en zengin istasyon (8 tür) 1. istasyondur. Bunu 7 tür ile 2. istasyon izlemektedir. Cladocera tür sayısı bakımından en zengin istasyon 1.istasyon'dur. Copepoda grubu tür sayısı ise tüm istasyonlarda eşit bir şekilde dağılım göstermiştir (Tablo 4).

Baraj Gölü'ndeki zooplankton dağılımına bakıldığında 4 istasyonda da Rotifera grubuna ait türlerin fazla olduğu görülmektedir (Şekil 2). Tatlı sularda Rotiferler zooplanktonik gruplar arasında dominantlardır (Saksena 1987). Tüm zooplankton içinde Rotifera türleri 1.istasyonda % 84, 2.istasyonda %79, 3.istasyonda %75, 4.istasyonda %70 lik oranlara sahiplerdir.

Baraj Gölü'nde en düşük su sıcaklığı 1.istasyonda Ocak ayında 3,8 °C en yüksek su sıcaklığı 4.istasyonda 27,1 °C olarak Temmuz ayında, en düşük pH değeri 1.istasyon Eylül ayında 8,1 iken en yüksek değeri 1.istasyonda Şubat ayında 9,6 olarak ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen değeri 1.istasyon Haziran ayında en düşük 6,4 (mg/l) en yüksek değeri 2. İstasyon Ocak ayında 12,2 (mg/l), elektriksel iletkenlik 2.istasyon Ocak ayında 223 (µS/cm) iken en yüksek değeri 2.istasyonda Ağustos ayında 422 (µS/cm) olarak, Seki disk en yüksek değeri 4.istasyonda Kasım ayında 5,5 (m) olarak değerlendirilmiştir(Tablo5).



Şekil 1. Uzunçayır Baraj Gölü ve Örneklem İstasyonları

Tablo 1. Uzunçayır Baraj Gölü'nde Kaydedilen Zooplankton Türlerinin 1. İstasyonda Aylara Göre Dağılımı

	N	M	H	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M
<b>Rotifera</b>												
<i>Ascomorpha ecaudis</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>A. saltans</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asplanchna priodonta</i>	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>A.sieboldi</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>A.girodi</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Cephalodella gibba</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Colurella colurus</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euchlanis dilatata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Filinia longiseta</i>	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gastropus stylifer</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Keratella cochlearis</i>	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+
<i>K.quadrata</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Synchaeta oblonga</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+
<i>S. pectinata</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Lecane lunaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Lepadella ovalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Notholca acuminata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>N. squamula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
<i>Proales decipiens</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Trichocerca capucina</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichotria tetractis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>
<b>Cladocera</b>												
<i>Bosmina longirostris</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Daphnia cucullata</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

<b>Copepoda</b>												
<i>Acanthocyclops robustus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Cyclops vicinus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Toplam (taxa)</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Toplam zooplankton(taxa)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>

**Tablo 2.** Uzunçayır Baraj Gölü'nde Kaydedilen Zooplankton Türlerinin 2. İstasyonda Aylara Göre Dağılımı

	N	M	H	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M
<b>Rotifera</b>												
<i>Ascomorpha ecaudis</i>	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>A. saltans</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asplanchna priodonta</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>A.sieboldi</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>A.girodi</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Cephalodella gibba</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Filinia longiseta</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Filinia terminalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Keratella cochlearis</i>	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>K.quadrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Synchaeta oblonga</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-
<i>S. pectinata</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
<i>Lecane furcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Lecane luna</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Lecane lunaris</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lecane stenroosi</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Lepadella ovalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>N. squamula</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
<i>Proales decipiens</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Trichocerca capucina</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Trichocerca similis</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Cladocera</b>												
<i>Bosmina longirostris</i>	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Cyhdorus sphaericus</i>	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
<i>Daphnia cucullata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Moina macrocopa</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<b>Toplam(taxa)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	-	-	-	<b>1</b>	-	<b>3</b>	<b>1</b>	-	-	-
<b>Copepoda</b>												
<i>Acanthodiptomus denticornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Cyclops vicinus</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
<b>Toplam zooplankton(taxa)</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

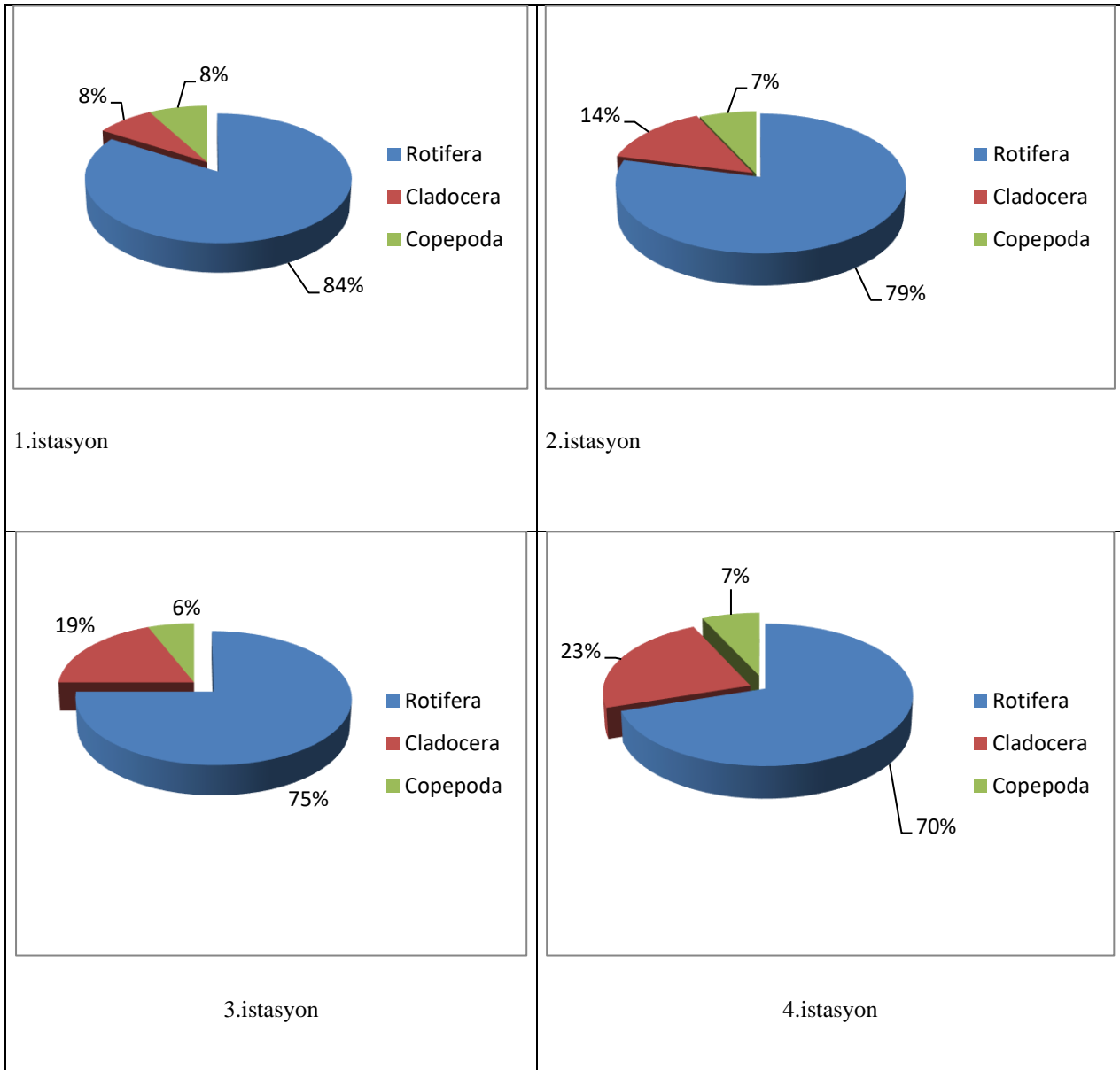
**Tablo 3.** Uzunçayır Baraj Gölü'nde Kaydedilen Zooplankton Türlerinin 3. İstasyonda Aylara Göre Dağılımı

	N	M	H	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M
<b>Rotifera</b>												
<i>Asplanchna priodonta</i>	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>A.sieboldi</i>	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>A.girodi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Cephalodella gibba</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euchlanis dilatata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Keratella cochlearis</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Synchaeta oblonga</i>	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+
<i>S. pectinata</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>N. squamula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Notommata glyphura</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
<i>Trichocerca capucina</i>	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>7</b>
<b>Cladocera</b>												
<i>Alona guttata</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Bosmina longirostris</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
<i>Cyhdorus sphaericus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Toplam (taxa)	1	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1
<b>Copepoda</b>												
<i>Cyclops vicinus</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+
Toplam (taxa)	1	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1
<b>Toplam zooplankton (taxa)</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>9</b>

**Tablo 4.** Uzunçayır Baraj Gölü'nde Kaydedilen Zooplankton Türlerinin 4. İstasyonda Aylara Göre Dağılımı

	N	M	H	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M
<b>Rotifera</b>												
<i>Ascomorpha saltans</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asplanchna priodonta</i>	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+
<i>A.sieboldi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Cephalodella gibba</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Keratella cochlearis</i>	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+
<i>Keratella quadrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Lecane lunaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Synchaeta oblonga</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+
<i>S. pectinata</i>	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+
<i>Notommata glyphura</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+
<i>Trichocerca capucina</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Cladocera</b>												

<i>Alona guttata</i>	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Bosmina longirostris</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Cyhdorus sphaericus</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
<i>Moina macrocopa</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Copepoda</b>												
<i>Cyclops vicinus</i>	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-
<b>Toplam (taxa)</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Toplam zooplankton (taxa)</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>



Şekil 2. Uzunçayır Baraj Gölü'nün İstasyonlara Göre Zooplankton Gruplarının Dağılımı



**Tablo 5.** Uzunçayır Baraj Gölü'nün sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, seki disk, minimum, maksimum, ortalama değerleri ve standart sapma değerleri'nin aylara göre dağılımı

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1.ist.	4,4	7,5	7,0	8,7	10,3	24,0	26,5	26,0	21,5	9,8	9,0	4,9
2.ist.	3,8	7,8	7,3	9,3	17,0	23,7	26,7	26,0	21,7	14,8	10,0	5,7
3.ist.	4,2	7,6	8,1	11,3	18,0	23,2	26,0	26,0	21,6	14,8	10,2	5,9
4.ist.	4,3	6,5	7,0	10,7	17,7	23,7	27,1	25,3	21,6	14,8	10,1	6,0
Min.	3,8	6,5	7,0	8,7	10,3	23,2	26,0	25,3	21,5	9,8	9,0	4,9
Mak.	4,4	7,8	8,1	11,3	18,0	24,0	27,1	26,0	21,7	14,8	10,2	6,0
Ort.	4,2	7,4	7,4	10,0	15,8	23,7	26,6	25,8	21,6	13,6	9,8	5,6
Ss.	0,3	0,6	0,5	1,2	3,7	0,3	0,5	0,4	0,1	2,5	0,6	0,5
Sıcaklık (°C)												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1.ist.	8,6	9,6	9,4	9,1	8,7	8,5	8,7	8,8	8,1	7,7	9,1	9,5
2.ist.	8,2	9,4	8,5	8,8	8,4	8,4	8,5	8,7	8,2	7,9	9,1	8,3
3.ist.	8,2	9,2	8,5	8,6	8,4	8,6	8,6	8,6	8,5	8,4	9,0	8,5
4.ist.	8,5	9,6	8,4	8,6	8,4	8,6	8,6	8,7	8,5	8,4	9,1	8,4
Min.	8,2	9,2	8,4	8,6	8,4	8,4	8,5	8,6	8,1	7,7	9,0	8,3
Mak.	8,6	9,6	9,4	9,1	8,7	8,6	8,7	8,8	8,5	8,4	9,1	9,5
Ort.	8,4	9,5	8,7	8,8	8,5	8,5	8,6	8,7	8,3	8,1	9,1	8,6
Ss.	0,2	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,1	0,6
pH												

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.938647

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1.ist.	13,8	11,4	12,8	12,5	12,3	6,4	9,3	9,8	9,9	11,5	11,3	13,0
2.ist.	12,2	11,8	12,5	11,8	10,7	7,4	10,3	10,5	9,9	10,8	10,5	12,1
3.ist.	13,3	11,4	12,5	11,5	10,8	8,4	9,8	10,0	9,9	9,9	10,2	12,0
4.ist.	11,7	11,8	12,6	12,5	11,0	7,8	9,0	10,7	9,8	9,2	10,7	9,8
Min.	11,7	11,4	12,5	11,5	10,7	6,4	9,0	9,8	9,8	9,2	10,2	9,8
Mak.	12,2	11,8	12,8	12,5	12,3	8,4	10,3	10,7	9,9	11,5	11,3	13,0
Ort.	13,2	11,6	12,6	12,1	11,2	7,5	9,6	10,3	9,9	10,4	10,7	11,7
Ss	1,1	0,2	0,1	0,5	0,7	0,8	0,5	0,4	0,1	1,0	0,5	1,4

Çözünmüş Oksijen (mg/l)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1.ist.	2	0,7	0,4	0	0,6	1,1	2,6	1,6	1,15	1,5	2,5	1,5
2.ist.	3	0,7	0,5	0	1	1,1	3,3	2	2,3	2,7	4,3	5
3.ist.	4,4	1,4	0,6	1	1,9	1,5	3,3	1,7	3	3,4	5,3	5,5
4.ist.	3,9	3	0,8	1,4	1,8	2	2,9	2,1	2,8	3,4	5,5	5
Min.	2	0,7	0,4	0	0,6	1,1	2,6	1,6	1,15	1,5	2,5	1,5
Mak.	4,4	3	0,8	1,4	1,9	2	3,3	2,1	3	3,4	5,5	5,5
Ort.	3,325	1,45	0,575	0,6	1,325	1,425	3,025	1,85	2,3125	2,75	4,4	4,25
Ss	1,1	1,1	0,1	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,8	0,9	1,3	1,8

Seki Disk Değerleri (m)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1.ist.	234	239	227	281	283	368	413	417	295	262	251	233
2.ist.	223	247	230	285	353	366	410	422	314	292	261	239
3.ist.	228	249	234	312	352	363	399	416	299	290	263	239
4.ist.	230	239	227	313	343	369	399	407	297	287	261	241
Min.	223	239	227	281	283	363	399	407	295	262	251	233
Mak.	234	249	234	313	353	369	413	422	314	292	263	241
Ort.	229	244	229	298	333	366	405	415	301	283	259	238
Ss	4	5	3	17	33	3	8	6	9	14	5	3
Elektriksel İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )												

Uzunçayır Baraj Gölü'nde daha önce yapılan çalışmada 15 Rotifera, 6 Cladocera ve 2 Copepoda teşhis edilmiştir (Saler vd. 2014). Bu çalışmada ise 28 Rotifera, 5 Cladocera ve 3 Copepoda türü bulunmuştur. Güncel çalışmada zooplankton türlerinin fazla olması örnekleme istasyonlarının fazla olması ile ilişkilendirilebilir. Uzunçayır Baraj Gölü'nün üzerinde kurulduğu Munzur Nehri'nde yapılan zooplankton faunası araştırmasında toplam 11 tür saptanmıştır (Saler 2011). Bu tür çeşitliliği farkı Munzur Nehri'nin çok hızlı akması ve daha soğuk olmasından kaynaklanabilir.

Peri Çayı'nda (Saler vd. 2011a), Rotiferadan, 10 tür Cladocera'dan 3 tür, Copepoda'dan, 2 tür, Pülümür Çayı'nda (Saler ve Haykır 2011), Rotiferadan 15 tür, Cladocera'dan 4 tür, Copepoda'dan 2 tür Murat Nehri'nde (Saler ve Haykır 2014), Rotiferadan 25 tür, Cladocera'dan 6 tür Copepoda'dan 2 tür tespit edilmiştir. Yapılmış olan bu çalışmalarda Rotifera'nın baskın olması bu çalışma ile benzerlik göstermektedir.

Mart 2010-Şubat 2011 de Uzunçayır Baraj gölü'nde yapılan çalışmada Rotifera'dan; *A. saltans*, *A. priodonta*, *A. sieboldi*, *C. gibba*, *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *L. luna*, *L. ovalis*, *N. acuminata*, *N. squamula*, *S. pectinata*, *P. dolichoptera*, *T. capucina*, *T. tetractis* Cladocera'dan; *B. longirostris*, *C. sphaericus*, Copepoda'dan; *A. denticornis*, *C. vicinus* bu çalışma ile ortak çıkan türlerdir (Saler vd. 2014).

Aynı bölgede bulunan, Seli Çayı'nın rotiferlerinin araştırıldığı çalışmada tür çeşitliliğine bakılacak olursa ilkbaharda rotiferlerin tür çeşitliliğinin en fazla olduğu, Uzunçayır'da rotiferlerden en fazla türün Brachionidae'ye ait olduğu görülmüştür. En fazla tür sayısı ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde gözlemlenmiş olup bu Baraj Gölü'nde yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir (İpek ve Saler 2008).

Seli Çayı Cladocera ve Copepoda faunası ile ilgili olan çalışmada en fazla görülen organizmalar *B. longirostris* ile *C. vicinus* olup, bizim çalışmamızla ile bu sonuçlar örtüşmektedir (Saler ve İpek 2009).

Aynı bölgede bulunan Tahar Çayı zooplanktonun tür çeşitliliği bakımından rotiferlerin diğer zooplanktonlara göre değişiklik gösterdiği, aynı zamanda her ay en fazla tür çeşitliliğine sahip olan grubun Rotifera olduğu görülmüştür (Öcalan ve Saler 2016).

Kürk Çayı ve Çalgan Deresi'nde yapılan çalışmalarda da bahar aylarında yoğun olarak, en az ise kış mevsiminde rotiferlerin ortaya çıktıkları ifade edilmiştir. Bu veriler çalışmanın sonuçları ile değerlendirildiğinde benzerlik göstermektedir (Saler vd. 2011b; Baysal ve Saler 2014).

Zooplanktonu etkileyen en önemli faktörler su sıcaklığı ve çözünmüş oksijendir. Su sıcaklığı akuatik canlıların sucul yaşamdaki kimyasal ve biyolojik aktivitesini yöneten en önemli parametrelerden biridir (Buyurgan vd. 2010, Saler vd. 2015). Zooplankton yaşam döngüsü için önemli

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.938647

olan pH seviyesinin alkali sınırı 8,5'tir (Berzins ve Pejler 1987). Bu çalışmada alkali sınır 8,5 değerinin üzerinde kaydedilmiştir. Buna göre çalışmada kaydedilen zooplankton türlerinin bu pH değerlerine uyum gösterdiği söylenebilir.

Çözünmüş oksijen miktarları, sıcaklığa ve göllerin trofik seviyesine göre değişim gösterir (Moss 1981). Rotifera türlerinin çoğu yüksek oksijen toleransına sahiptir, düşük oksijen içeriğine sahip suların zooplankton gelişimini, üremesini ve dağılımını etkilediğini ve tatlı suda 5 mgL<sup>-1</sup>'in altındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin zooplankton gelişimini engellediği belirtilmiştir (Devol 1981). Bu çalışmada her örneklemede çözünmüş oksijen seviyesi 5mg / L'nin üzerinde belirlenmiştir. Bu habitatın, çözünmüş oksijen seviyesine göre zooplankton yaşamı için uygun olduğu görülmektedir.

İletkenlik veya elektriki iletkenlik; 1 cm<sup>2</sup> alanda, 1 cm aralıklı duran iki platin elektrot arasındaki direncin ölçümü olarak ifade edilebilir yada doğal sularda, kabaca sudaki çözünmüş maddelerin toplamıdır (Tanyolaç 1993). Yağış miktarıyla birlikte jeolojik yapıya bağlı olarak farklılık gösteren iletkenlik sudaki besin tuzlarından etkilenmez (Temponeras vd. 2000). Elektriksel iletkenlik tatlı sularda 10-1000 µS/cm arasında değişiklik göstermektedir. Su ürünleri standartları ve yüzeysel su kaynaklarının kirlenmeye karşı korunması hakkındaki protokolda belirtilen elektriksel iletkenlik değeri (150-500 µS/cm) arasında yer almaktadır (Uslu ve Türkman 1987). Bu çalışmada ise 223-422 µS/cm değerleri arasında değişmektedir ve bu değerlerin tüm istasyon ve aylarda mevcut standartlar arasında olduğu gözlenmiştir.

Trofik sınıflandırma sistemi için OECD seki disk sınır değerlerine göre (0,8-1,5 m) aralığındaki göller ötrofik, (1,4 - 2,4 m) aralığındaki göller mezotrofik, (3,6 - 5,9 m) aralığındaki göller ise oligotrofik olarak sınıflandırılmaktadır (Ryding ve Rast 1989). Bu değerlere göre Uzunçayır Baraj Gölü oligotrofik grupta değerlendirilmektedir.

İlkbahar mevsiminde seki diski değerinin az olmasının nedeni yağışların artması ile birlikte akarsuların baraj gölüne sediment taşınması ile seki disk değerinin düşük olduğu söylenebilir. Uzunçayır baraj Gölünde yapılan bir başka çalışmada bu bilgiyi destekler niteliktedir (Kutlu vd. 2017).

Salur vd. 2014 yaptıkları çalışmada su kalite parametrelerinden en düşük ve en yüksek sıcaklık

(8,6-20,1°C), çözünmüş oksijen (4,6- 10,1mg/l) ve pH (6,8-8,1) değerlendirirken bu çalışmada ise bunlara ek olarak elektriksel iletkenlik ve seki diski değerleri de değerlendirilmiştir.

Bazı literatürlerde pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklığın örnekleme yapılan tüm noktalarında I. sınıf su kalitesinde olduğu bulunmuştur. Bu değerler ile kıyaslandığında bizim bulgularımızla bu değerlerin örtüştüğü görülmektedir (Erkil vd. 2015).

Uzunçayır Barajı karasal bir tatlı su gölü olup iyi durumda olduğu öngörülebilecek bir su kalitesine sahip olduğu, kirlilik düzeyinin yüksek düzeyde olmadığı ve zooplankton yaşamı için uygun ortam koşullarına sahip olduğu da söylenebilir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma TAGEM/HAYSÜD/2017/A-11/P-03/1 nolu proje tarafından desteklenmiştir

### 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

- Baysal, N. ve Salur, S. (2014). Çalgan Deresi Elazığ Zooplanktonu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 26(1): 1-7.
- Berzins, B. ve Pejler, B. (1987). Rotifer occurrence in relation to pH, Hydrobiologia 1987; 147: 107-116
- Bidder, MD. (1981). Some consideration on the geographical distribution of Rotifers. Hydrobiol., 85: 209-255 p
- Boztaş, D. Dere, T. Tayhan, N. Yıldırım, N. Danabaş, D. Cıkcıkoğlu Yıldırım N. Öztüfekçi Önal, A. Danabaş, S. Ergin, C. Uslu, G. ve Ünlü, E. (2012). Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2 (2): 93-106
- Buyurgan, Ö. Altındağ, A. ve Kaya, M. (2010). Zooplankton community structure of Asartepe Dam Lake (Ankara, Turkey). Turk. J Fish. Aquat. Sci. 10: 135-138.
- Çoban, MZ. Gündüz, F. Yüksel, F. Demirel, F. Yıldırım, T. ve Kurtoğlu, M. (2013). Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) Balık Faunası. Yunus Araştırma Bülteni 2013 (2): 35-44.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.938647

- Devol, AH.(1981). Vertical distribution of zooplankton respiration in relation to the intense oxygen minimum zones in two British Columbia fjords. *Journal of Plankton Research* 3: 593-602.
- DSİ, 2021. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. [Erişim Tarihi: 10 Mart 2021]. Erişim Adresi: <https://www.dsi.gov.tr>
- Dumont, HJ. ve De Ridder, M. (1987). Rotifers from Turkey. *Hydrobiologia*. 147: 65-73.
- Edmondson, WT. (1959). Rotifera in "Fresh Water Biology". Ed. Edmondson W.T. Second edition, University of Washington Seattle.
- Einsle U. (1996). Copepoda: Cyclopoida, Genera Cyclops, Megacyclops, Acanthocyclops. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World No.10 SPB Academic Publishing, London, 82 p.
- Erkil, V. Küçükgül, A. Serdar, O. Aydın, R. ve Otay, T. (2015). Tunceli İli ve Çevresi Tatlı Su Kaynaklarında Suyun Fiziko-Kimyasal Parametreleri ve Nitrojenli Bileşiklerin Mevsimsel Değerleri. *Bilim ve Gençlik Dergisi* 3(2): 1-11
- Gannon, EJ, Stemberger, SR. (1978). Zooplankton as indicators of Water Quality. *Trans Amer. Micros. Soc.* 97 (1): 16-35
- Grasse, P. (1965). *Traite de Zoologie, Anatomie, Systematique, Biologie, Nome IV, Fassicule III*, Mason Etc Editeurs Libraires De L"Academie De Medecine Annales de Limnologie 6(2):161-190.
- İpek, N. ve Saler, S. (2008). Seli Çayı (Elazığ-Türkiye) Rotifer Faunası ve Bazı Biyoçeşitlilik İndeksleri ile Analizi. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*. 25(3):211-215.
- Kamburska, L. Moncheva, S. Konsulov, A. Krastev, A. Prodonov, K. (2003). The invasion of Beroe ovata in the Black Sea a warning signal for ecosystem concern. *Inst. Oceanogr., Bulgarian Acad. Sci.*, 4(11): 123p.
- Kaya, M. Altındağ, A. (2007). Brachionidae (Rotifera: Monogononta) Species from Turkey. *Asian Journal of Animal Sciences*, 1, 40-47.
- Kolisko, WR. (1974). *Planktonic Rotifers Biology and Taxonomy* Biological Station, Lunz of The Austrian Academy of Science, Stuttgart, 974 s
- Koste, W. (1978a). *Rotatoria. Überordnung Monogononta*. I. Textband, Gebrüderssontrager, Berlin, 650s.
- Koste, W. (1978b). *Rotatoria*. Gebrüder Borntraeger, II. Tafelband, Stuttgart, 234s.
- Kutlu, B. Serdar, O. Aydın, R. ve Danabaş, D. (2017). Uzunçayır Baraj Gölü'nün (Tunceli) Carlson İndeksine Göre Trofik Durumunun Belirlenmesi. *Yunus Araştırma Bülteni* (1): 83-92.
- Marneffe, Y. Comblin, S.ve Thome, J. (1998). Ecological water quality assesment of the Bütgenbach lake (Belgium) and its impact on the river Warche using rotifers as bioindicators. *Hydrobiol.*, 387/388: 459-467p.
- Michaloudi, E. Zarfjdian, M. ve Econormidis, P. (1997). The zooplankton of Lake Micri Prespa. *Hydrobiol.*, 351: 77-94p
- Moss, B. (1981). *The Art and Science of Lake Restoration*. Springer 581: 15-24.
- Negrea, ST. (1983). *Fauna Republici Socialiste Romania, Crustacea Cladocera*. Academia Republici Socialiste Romania, Bukres, 399 p.
- Öcalan, A. ve Saler, S. (2016). Tahar Çayı Tunceli zooplanktonu. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*. 28(2): 1-10
- Özcan, Eİ. (2019). Pülümür Nehri (Tunceli, Türkiye)'ndeki *Barbus lacerta* Heckel, 1843'ün Boy-Ağırlık İlişkisi ve Kondisyon Faktörü. *Nwsa-Ecological Life Sciences* 14(4): 66-73.
- Özcan, Eİ. (2020). Pülümür Nehri'nde Yaşayan *Acanthobrama marmid* Heckel, 1843 Populasyonunun Bazı Büyüme Özelliklerinin Belirlenmesi. *Ecological Life Sciences (NWSAELS)*, 15(4):121-133, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.4.5A0139.
- Ryding, SO. ve Rast, W. (1989). *The Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs*. UNESCO, Man And The Biosphere Series. Vol.1. The Parthenon Publishing Group, New Jersey. 314 pp.
- Saksena, ND. (1987). Rotifer as indicators of water quality. *Acta Hydroch Hydrobiol.*, 15: 481-485p
- Saler, S. (2011). Zooplankton of Munzur River Tunceli Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 10(2): 192-194.
- Saler, S. ve İpek, N. (2009). Cladocera and Copepoda (Crustacea) Fauna of Seli Stream (Elazığ-Turkey) *Journal of FisheriesSciences.com* 3(4): 318-322
- Saler, S. ve Haykır, H. (2011). Zooplankton Composition of Pulumur Stream (Tunceli-Turkey), *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10: 11, 1401-1403.
- Saler, S. Haykır, H. (2014). Murat Nehri'nin (Elazığ-Palu ilçe merkezi sınırları içindeki bölümünde)

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.938647

zooplanktonu ve değişimi. Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(1): 13-17.

- Saler, S. Eroğlu M. ve Haykır H. (2011a). Peri Çayı (Tunceli-Türkiye) zooplanktonu. e-Journal of New WorldSciences Academy, 6, 2, 14-20.
- Saler, S. İpek, N. ve Arslan, S. (2011b). Kürk Çayı (Elazığ-Türkiye) Zooplanktonu, Journal of Fisheriessciences.com, 5 (3), 219-225
- Saler, S. Haykır, H. ve Baysal, N. (2014). Zooplankton of Uzunçayır Dam Lake (Tunceli-Turkey), Journal of Fisheriessciences.com. 8(1): 1-7.
- Saler, S. Bulut, H. Örnekçi, GN. ve Uslu, AA. (2015). Ulaş Gölü (Ulaş-Sivas) Zooplanktonu, International Journal of Pure and Applied Sciences, 1(2): 112-121.
- Shiganova, T. (2005). Changes in appendicularian *Oikopleura dioica* abundance caused by invasion of alien ctenophores in the Black Sea. Journ. Mar. Biol. Ass., U.K., 85: 477-494.
- Siokou-Frangou, I. Papathanassiou, AE. ve Lepretre Frontier, S. (1998). Zooplankton assemblages and influence of environmental parameters on them in a Mediterranean coastal area. Journ. Plankton Res., 20: 847-870p.
- Sladeczek, V. (1983). Rotifers as indicators of water quality, Hydrobiologia, 100, 169-201p.
- Tanyolaç J. 1993. Limnoloji. Cumhuriyet Üniv. Fen. Fak. Hatipoğlu Yayınevi. Ankara 68.
- Temponeras, M. Kristiansen, J. ve Moustaka-Gouni, M. (2000). Seasonal variation in phytoplankton composition and physical-chemical features of the shallow Lake Doirani Macedonia, Greece. Hydrobiologia, 424: 109-122.
- Uslu, O. Türkman, A. (1987). Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları. Eğitim Dizisi I, Ankara.
- Vidjak, O. Bojanic, N. Kuspilic, G. Marasovic, I. Gladan, NZ. ve Brautovic, I. (2006). Annual variability and trophic relations of the mesozooplankton community in the eutrophicated coastal area (Vranjic Basin, eastern Adriatic Sea). J. Mar. Biol. Ass. U.K., 86: 19-26
- Wallace, R. ve Snell, TW. (1991). Rotifera, ecology and classification of North American Freshwater invertebrates, Academic Press, 187-249p

## Şebekeden Bağımsız Eviriciler için Sinüzoidal Darbe Genişlik ve Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonlarının Karşılaştırılmalı Performans Analizi

İbrahim Arslanoğlu<sup>1\*</sup>, Bilgin Zengin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Tunceli, Türkiye

\*ibrahimarslanoglu@ktu.edu.tr , bilginzengin@munzur.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 03.06.2021, Makale kabul tarihi: 29.09.2021

### Öz

Birçok sistemde yaygın olarak alternatif akım kullanıldığından doğru akım giriş geriliminin istenilen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif akım çıkış gerilimine dönüştürülmesi istenmektedir. Bu amaçla, çalışmada öncelikle eviriciler ve çok seviyeli eviriciler hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra, darbe genişlik modülasyon teknikleri açıklanmış ve bu modülasyon teknikleri içerisinde Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyon (SDGM) ve Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyon (UVDGM) tekniklerinin çalışma mantığı detaylıca incelenmiştir. Son olarak, MATLAB/Simulink ortamında şebekeden bağımsız iki seviyeli SDGM ile üç seviyeli UVDGM kontrol yöntemi kullanılarak eviricilerin, R (Rezistif) ve R-L (Rezistif-Endüktif) yükleri üzerindeki benzetimleri modellenmiştir. Simulink ortamında yapılan bu ölçümler, teorik hesaplamalarla kıyaslanmış ve modellerden güç kalitesi açısından en iyi performans gösterenin hangisi olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çok seviyeli eviriciler, eviriciler, sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu, uzay vektör darbe genişlik modülasyonu

## Comparative Performance Analysis of Sinusoidal Pulse Width and Space Vector Pulse Width Modulations for Off-Grid Inverters

### Abstract

Since alternating current is widely used in many systems, it is desired to convert the direct current input voltage to a symmetrical alternating current output voltage with the desired amplitude and frequency. For this purpose, first of all, information about inverters and multilevel inverters is given in the study. Then, pulse width modulation techniques are explained and the working logic of Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) and Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) techniques are examined in detail among these modulation techniques. Finally, the simulations of the inverters on R (Resistive) and R-L (Resistive-Inductive) loads are modeled using the grid-independent two-level SPWM and three-level SVPWM control method in MATLAB/Simulink environment. These measurements made in the Simulink environment were compared with the theoretical calculations and it was tried to determine which of the models showed the best performance in terms of power quality.

**Keywords:** Multi-level inverters, inverters, sinusoidal pulse width modulation, space vector pulse width modulation

### GİRİŞ

Günümüzde birçok sistemde ve endüstriyel uygulamalarda genel olarak alternatif akım (AA) kullanılmaktadır. Bu yüzden doğru akım (DA) giriş geriliminin AA çıkış gerilimine dönüşümünün yapılması gerekmektedir. Bu dönüşüm yapılırken giriş gerilimi istenilen genlikte ve frekansta simetrik bir AA çıkış gerilimine dönüştürülmesi istenmektedir. Dolayısıyla, DA'nın AA dönüşümünde meydana gelecek kayıpların en az

olması hem enerji kaybını önleme açısından hem de sistem performansı açısından önem arz etmedir.

Eviriciler, DA'yı AA'ya dönüştürürken çıkışta düşük harmonik elde etmeyi sağlayan güç elektroniği devresidir. Bu yüzden endüstriyel uygulamanın vazgeçilmezleri arasındadır. Çünkü çeşitli motorların denetimi, güç sistemleri gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu yaygın kullanım alanına sahip olan eviricilerden beklenen en temel özellik DA giriş geriliminin istenilen genlikte ve frekansta AA çıkış

gerilimine dönüştürülmesidir. Diğer bir deyişle; çıkış gerilim dalga şeklinin olabildiğince sinüs formuna yaklaşıp olması beklenmektedir. (Beşer, 2009).

## MATERYAL VE METOT

### Eviriciler

Eviriciler, DA giriş kaynağı enerjisini istenilen genlik ve frekansta yüke uygulanan AA çıkış enerjisine dönüştüren güç elektroniği devreleridir (Önder, 2010). Bu dönüştürülen evirici çıkış enerjisinin ve geriliminin istenilen seviyede ayarlanması çeşitli yöntemlerle sağlanmaktadır. Birinci yöntem; evirici kazancını sabit tutarak DA giriş gerilimini ayarlamakla yapılır. İkinci yöntem ise DA giriş geriliminin sabit ve kontrol edilemediği durumlarda, eviriciye genellikle darbe genişlik modülasyonu (DGM) uygulanarak değişken çıkış gerilim seviyesinin elde edilmesi ile yapılır (Yumurtacı, 2007).

### Çok Seviyeli Eviriciler

Yarı iletken teknolojisinde kaydedilen gelişmelerle beraber farklı DGM tekniklerinin geliştirilmesi güç dönüştürücülerinin ortaya çıkmasına ve birçok alanda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu gelişmelerden biri de çok seviyeli eviricilerdir. Özellikle kesintisiz güç kaynakları ve sürücü sistemleri gibi endüstriyel uygulamaların birçoğunda yaygın olarak kullanılan bu eviriciler, girişlerine uygulanan DA gerilim seviyelerini çıkışlarında daha sinüzoidal forma dönüştürürler (Sünter, 2013).

Çok seviyeli eviricinin en büyük faydası, anahtarlama frekansını arttırmadan ya da evirici çıkış gerilimini azaltmadan evirici çıkışındaki dalga formunda meydana gelen harmonik bozulmaları minimize etmesidir (Kocatepe ve diğerleri, 2003).

Çok seviyeli eviricilerin çıkışındaki dalga şekli sinüs sinyalinin merdiven basamaklı hali gibidir. Girişine uygulanan gerilim seviye sayısı arttıkça çıkışındaki dalgada oluşan basamak sayısı da artacağı için dalga formu sinüs sinyal şekline daha çok benzeyecek ve kalitesi de artacaktır. Fakat seviye sayısını arttırdıkça anahtarlama eleman sayısı da artacağı için evirici kontrol algoritmasındaki karmaşa da artacaktır. Bu da çok seviyeli eviricilerin istenmeyen durumudur (Kerem, 2012).

Orta ve yüksek güç uygulamalarında kullanılan klasik eviricilerin verimlerinin düşük olması, büyük transformatörlerin kullanılmasıyla ortaya çıkan yüksek maliyet,  $dV/dt$  ve  $dI/dt$  sonucu anahtarlama

elemanlarında oluşan akım-gerilim darbeleri gibi istenmeyen durumlar, çok seviyeli eviricilerin geliştirilmesiyle en aza indirilmeye çalışılmıştır. Böylece yüksek güç uygulamaları için yeni bir güç dönüşüm sistemi ortaya çıkmıştır.

Çok seviyeli eviricilerde gerilim seviyesi en az üç ile başlar ve sonsuz seviyeye kadar gidebilir. Arttırılan her seviye sonucunda çıkış gerilim dalga formunda; daha az sinyal bozulumu, daha düşük anahtarlama frekansı ve yüksek verim gibi durumlar meydana gelir.

Çok seviyeli eviriciler üretim zamanlarına ve türlerine göre: Diyot Kenetlemeli Çok Seviyeli Evirici, Kapasite Kenetlemeli Çok Seviyeli Evirici, İzoleli DA Kaynaklı Kaskat Bağlı Çok Seviyeli Evirici şeklinde üç grupta sınıflandırılabilir (Kocalmış Bilhan, 2012).

### Darbe Genişlik Modülasyon Teknikleri

Evirici çıkışındaki gerilim ve frekansın kontrolüne ilişkin birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar neticesinde birçok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerle evirici çıkışındaki dalganın sinüzoidal şekle yaklaşması amaçlanmıştır. Böylece harmonik bozulma azaltılarak çıkış dalga kalitesi arttırılmıştır. Bu teknikler genel olarak DGM olarak ifade edilmesine rağmen geniş bir lineer modülasyon aralığı, daha az anahtarlama kaybı, kolay uygulama ve daha az toplam harmonik bozulum elde etmek amacıyla birçok farklı adla anılan DGM tekniği mevcuttur. Her tekniğin kendince çeşitli avantajı, dezavantajı ve her birinin farklı türde uygulama alanları vardır. Bu teknikler şunlardır: Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SDGM), Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu (UVDGM), Harmonik Eliminasyonlu Darbe Genişlik Modülasyonu (HEDGM), Minimum Akım Dalgalanmalı Darbe Genişlik Modülasyonu (MADDGM), Üçüncü Harmonik İlaveli Darbe Genişlik Modülasyonu (UHIDGM), Harmonik İlaveli Darbe Genişlik Modülasyonu (HIDGM), Değiştirilmiş Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (DSDGM), Sigma Delta Darbe Genişlik Modülasyonu (SDDGM).

### Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu

Bu teknik endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen tekniklerden biridir. İki seviyeli SDGM tekniğinin geliştirilmesiyle çok seviyeli eviricilerde kullanılmaktadır. Yüksek frekanslı tepe genliği  $V_{üçgen}$ , frekansı  $f_i$  olan taşıyıcı üçgen dalga ile daha düşük frekanslı tepe genliği  $V_p$  ve frekansı  $f_r$  olan bir



sinüs işareti karşılaştırılarak tetikleme sinyallerinin üretimine dayalı olan yöntem SDGM denir3. (Fidanboy, 2011).

SDGM tekniği kare dalgadaki harmonikleri azaltmak için kullanılan en eski yöntemlerden biridir (Kang ve diğerleri, 2000). Ayrıca sinüs biçimde bir gerilim elde etmek için kullanılan en ekonomik ve en4. kolay uygulanabilen yaygın yöntemlerdendir (Asker ve diğerleri, 2009).

SDGM tekniğinde, modülasyon dalga genliğinin5. taşıyıcı dalga genliğine oranına modülasyon indeksi denir. Bu oranın lineer olabilmesi için modülasyon indeksinin 0 ile 1 arasında değişen bir değerde olması gerekmektedir. Modülasyon indeksi ve frekans indeksi şu şekilde hesaplanır (Tuncer, 2004);

$$M_i = \frac{V_t}{V_{üçgen}} \quad (1)$$

$$M_f = \frac{f_t}{f_r} \quad (2)$$

Yukarıdaki formüllerde;

$M_i$  modülasyon indeksini,  $V_p$  taşıyıcı işaretin genliği,  $M_f$  frekans indeksini,  $f_t$  taşıyıcı işaretin frekansını ve  $f_r$  referans işaretin frekansı göstermektedir.

Modülasyon indeksine ait dört durum söz konusudur. Bunlar:

1.  $M_i=0$  olduğunda çıkışta anahtarlama frekansında kare dalga meydana gelir.
2.  $0 \leq M_i \leq 1$  ise temel bileşen tepe değeri ( $V_0$ ) ile  $M_i$  lineer değişmektedir.

$$V_0 = M_i \cdot \frac{V_{DA}}{2} \quad (3)$$

hale getirmektedir. Bu yüzden eviricideki anahtarların olası tüm durumları birer anahtarlama vektörüyle ifade edilir. Bu vektörlere ait anahtarlama tüm kombinasyonları matematiksel ifadeler yardımıyla belirlenerek en uygun anahtarlama durumu seçilir.

Üç seviyeli eviricide çıkış geriliminin elde edilmesi için şu adımlar takip edilir;

- 1.Adım:**  $V_d$ ,  $V_q$ ,  $V_{ref}$  gerilimleri ve  $\theta$  açısı hesaplanır.
- 2.Adım:**  $V_{ref}$  'in hangi sektörde olduğu belirlenir.
- 3.Adım:**  $V_{ref}$  'in sektörün hangi bölgesinde olduğu belirlenir.

3.  $M_i=1$  ise temel bileşen 0.5V değeri alır. Lineer bölge için maksimum değer olan bu değer, eviricinin oluşturabileceği maksimum değer olan ( $4V_{DA} / 2\pi$ ) kare dalga durumunun %78.55'ine tekabül eder.

4.  $M_i > 1$  ise aşırı modülasyon bölgesidir. Bu bölgede lineerlik bozulur.  $M_i$  belli bir değerinden sonra kare dalga oluşur (Fidanboy, 2011).

Eviricilerde çıkış gerilimiyle kontrol sağlandığı gibi çıkış frekansıyla da kontrol sağlanabilir. Bu kontrol Denklem (2)'de verilen formülle hesaplanır. Yüksek frekanslı harmoniklerin daha kolay filtrelenebildiği göz önünde bulundurulunca, anahtarlama frekansının da o oranda yüksek olması tercih edilir. Fakat bu durum eviricilerde yüksek anahtarlama kayıplarına neden olur. Bu anahtarlama kayıplarını belirli bir seviyede tutmak için çıkış frekansında taşıyıcı oranı küçültülür. Böylece  $M_o \leq 1$  ve  $M_f = 21$  olduğu denge noktası sınır değeri elde edilir (Kocalmış Bilhan, 2012).

### Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu

Mikroişlemcilerde yaşanan gelişmelerle beraber DGM teknikleri arasında en önemlilerden birisi haline gelmiştir. Bu tekniği önemli kılan unsurlar; dijital işlemcilerle kolayca uygulanabilir olması, anahtarlama kayıplarını önemli ölçüde azaltması, çıkış gerilimindeki harmonik bileşenleri minimize etmesi, diğer modülasyon yöntemleri ile kıyaslandığında daha yüksek genlik modülasyon faktörleri elde edilmesidir (Rathnakumar, 2005). UVDGM yönteminin amacı, toplam harmonik bozunumu ve anahtarlama kayıplarını en düşük seviye indirgeyerek çıkış dalga formunu sinüzoidal

**4.Adım:** Her bir sektör için  $T_a$ ,  $T_b$  ve  $T_o$  anahtarlama konum süreleri hesaplanır.

**5.Adım:** Hesaplanan sürelerle uygun olarak anahtarlama sinyalleri üretilir.

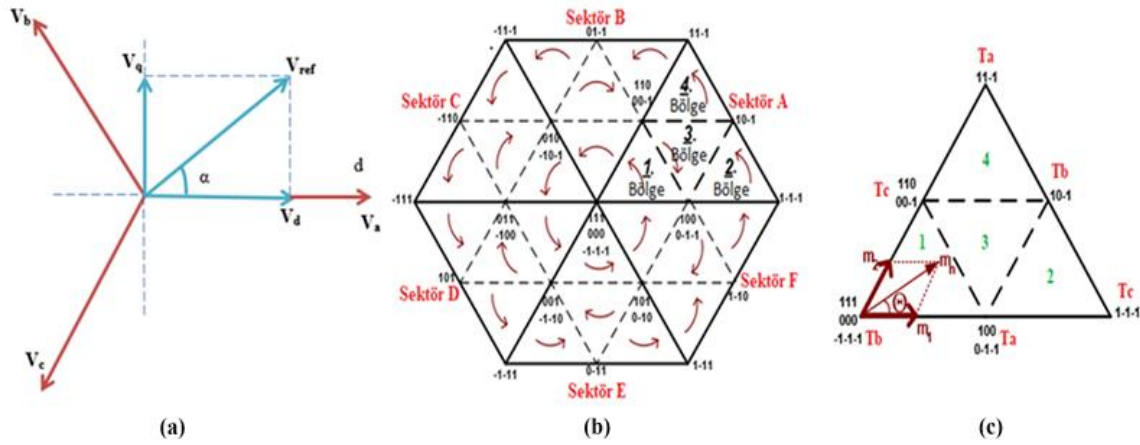
**1. Adım:** Eviricinin üretmesi gereken  $V_a$ ,  $V_b$  ve  $V_c$  referans gerilimler Denklem (4)'de verilen Clarke dönüşümü kullanılarak Şekil 1.(a)'da gösterildiği gibi  $V_d$ ,  $V_q$  bileşenlerine dönüştürülür. Referans gerilim vektörünün genliği ve açısı ise sırası ile Denklem (5) ve (6) yardımıyla bulunur (Eskin, 2012).

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$V_{ref} = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (5)$$

$$\theta = \arctan V_q / V_d \quad (6)$$

Gerilim vektör uzayı için sektörler ve bölgeleri Şekil 1.(b)'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Gerilim uzay vektörü ve bileşenleri (b) Gerilim vektör uzayı için sektörler ve bölgeleri (c) Sektör A'ya ait uzay vektör diyagramı

Tablo 1. Açılı değerlerine göre sektör belirlenmesi ile  $m_1$  ve  $m_2$  değerlerine göre bölge tespiti

AÇI ( $\theta$ )	$V_{ref}$ 'in Bulunduğu Sektör	Bölge Numarası	$m_1$	$m_2$	$m_1 + m_2$
$0^\circ \leq \theta < 60^\circ$	Sektör A	1. Bölge	$< 0.5$	$< 0.5$	$< 0.5$
$60^\circ \leq \theta < 120^\circ$	Sektör B	2. Bölge	$> 0.5$	–	–
$120^\circ \leq \theta < 180^\circ$	Sektör C	3. Bölge	$< 0.5$	$< 0.5$	$> 0.5$
$180^\circ \leq \theta < 240^\circ$	Sektör D	4. Bölge	–	$> 0.5$	–
$240^\circ \leq \theta < 300^\circ$	Sektör E				
$300^\circ \leq \theta < 360^\circ$	Sektör F				

**3. Adım:** Sektör A içerisinde bulunuyorsa, artık hangi bölgenin içerisinde bulunduğu belirlenir. Sektör A'ya ait uzay vektör diyagramı Şekil 1.(c)'de verilmiştir.

Şekil 1.(c)'de görüldüğü üzere gerilim vektörünün dört bölgeden hangisinde olduğunun tespit edilmesi gerekir. Bunun için de gerilim vektörü matematiksel denklemler yardımıyla  $m_1$  ve  $m_2$

**2. Adım:** Referans gerilim vektörünün ( $V_{ref}$ ) hangi sektörde yer aldığını  $\theta$  açısına bakarak tespit edilir. Açılı değerine göre referans gerilim vektörünün hangi sektörde yer aldığı Tablo 1'de verilmiştir

şeklinde bileşenlerine ayrılarak hesaplanır. Buradan  $m_1$  ve  $m_2$ 'nin değerlerine bakarak Sektör A için gerilim vektörünün hangi bölgede olduğu tespiti Tablo 1 yardımıyla bulunur. Diğer sektörler için de  $m_1$  ve  $m_2$  hesapları yapılarak bölge tespiti gerçekleştirilir.

**4. Adım:** Her bir sektördeki her bir bölgede farklı anahtarlama sayıları ve sıraları olacağı için her bölge için ayrı ayrı anahtarlama sürelerinin hesaplanması gerekir. Örneğin Sektör A için 1. Bölge ele alınırsa toplamda 7 anahtarlama durumu söz konusudur ve bu anahtarlama sırası  $T_b$ ,  $T_c$  ve  $T_a$  şeklinde olacaktır. Eğer anahtarlama konum süreleri hesaplanmak istenirse süre hesabı yapılır.

$$V_{ref} \cdot T_s = V_a \cdot T_a + V_b \cdot T_b + V_c \cdot T_c \quad (7)$$

$$T_s = T_a + T_b + T_c \quad (8)$$

Denklem (8) ve  $V_a$ ,  $V_b$  ve  $V_c$  gerilimleri yardımıyla her sektörün her bölgesine ait anahtarlama süreleri hesaplanır. UVDGM ile ilgili formül ve bilgilerin detayları literatürde mevcuttur (Arslanoğlu, 2019).

**5. Adım:** Gerilim vektörünün hangi sektörde ve hangi bölgede olduğunun tespitinden sonra  $T_a$ ,  $T_b$  ve  $T_c$  anahtarlama konum süreleri hesaplanır. Hesaplanan bu değerlere göre uygun anahtarlama sıraları seçilir ve uygulanır (Kocalmış, 2005). Bu karşılaştırmalarda akım, gerilim sinyali genlikleri ve harmonikleri gibi bazı sonuçlar incelenmiştir.

### İki Seviyeli SDGM Eviricinin Benzetim Modeli

SDGM kontrol yöntemi kullanılarak R / R-L yüklü iki seviyeli bir eviricinin benzetimi Şekil 2.(a)'da verilmiştir. Bu teknikte şu adımlar izlenmektedir:

1. Farklı genlik ve frekanstaki sinüzoidal referans işareti daha yüksek frekanslı üçgen dalga taşıyıcı işaretlerle karşılaştırılması yapılır.

2. Oluşan kesişim noktalarıyla anahtarlama elemanlarının anahtarlama süreleri ve güç anahtarları için gerekli olan tetikleme sinyali elde edilerek uygulanır.

### Üç Seviyeli UVDGM Eviricinin Benzetim Modeli

Üç seviyeli UVDGM kontrol yöntemi kullanılarak R / R-L yüklü bir eviricinin benzetimi yapılmıştır. Şekil 2.(b)'de R / R-L yüklü üç seviyeli eviricinin MATLAB/Simulink modeli görülmektedir.

MATLAB/Simulink benzetimin yapılmasında şu adımlar izlenir;

1. Gerilim vektörünün hangi sektöre düştüğü tespit edilir.

### BULGULAR

Şebekeden bağımsız iki seviyeli SDGM ile üç seviyeli UVDGM kontrol yöntemi kullanılarak Tablo 2'de verilen parametreler yardımıyla benzetimler gerçekleştirilmiştir.

Benzetimler neticesinde SDGM ve UVDGM için çıkış gerilimlerinin Tablo 2'deki parametreler kullanılarak hesaplanırsa teorik olarak aşağıdaki gibi bir değerde olması beklenir.

$$V_{çıkışSDGM} = M_i \cdot \frac{V_{DA}}{2} = 0.8 \cdot \frac{717.817}{2}$$

$$= 311.126V \text{ (Akmaç ve diğerleri, 2016).}$$

$$V_{çıkışUVDGM} = 0.707 \cdot M_i \cdot V_{DA}$$

$$= 0.707 \cdot 0.8 \cdot 550.082$$

$$= 311.126V \text{ (Deniz, 2010).}$$

Benzetimlerde daha etkili bir analiz sağlanması için ilk olarak rezistif yük kullanılmış ve iki yöntem karşılaştırılmıştır. Daha sonra rezistif-endüktif yük benzetimler için kullanılmış ve iki yöntem tekrar karşılaştırılmıştır.

2. Vektörün sektör içinde hangi bölgeye düştüğü tespit edilir

3. Anahtarlama süreleri hesaplanır.

4. Her bir sektörün her bir bölgesi için anahtarların anahtarlama sıraları belirlenir ve uygulanır.

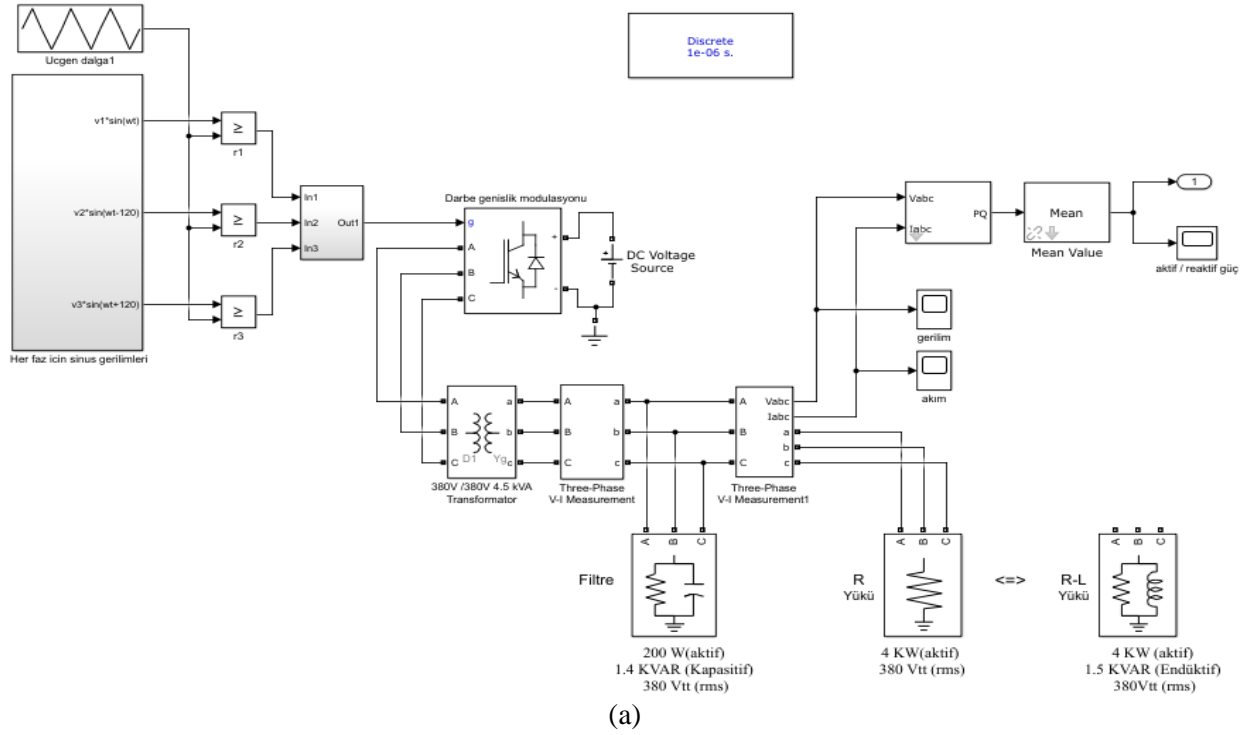
### SDGM ve UVDGM Yöntemlerinin Özellikleri

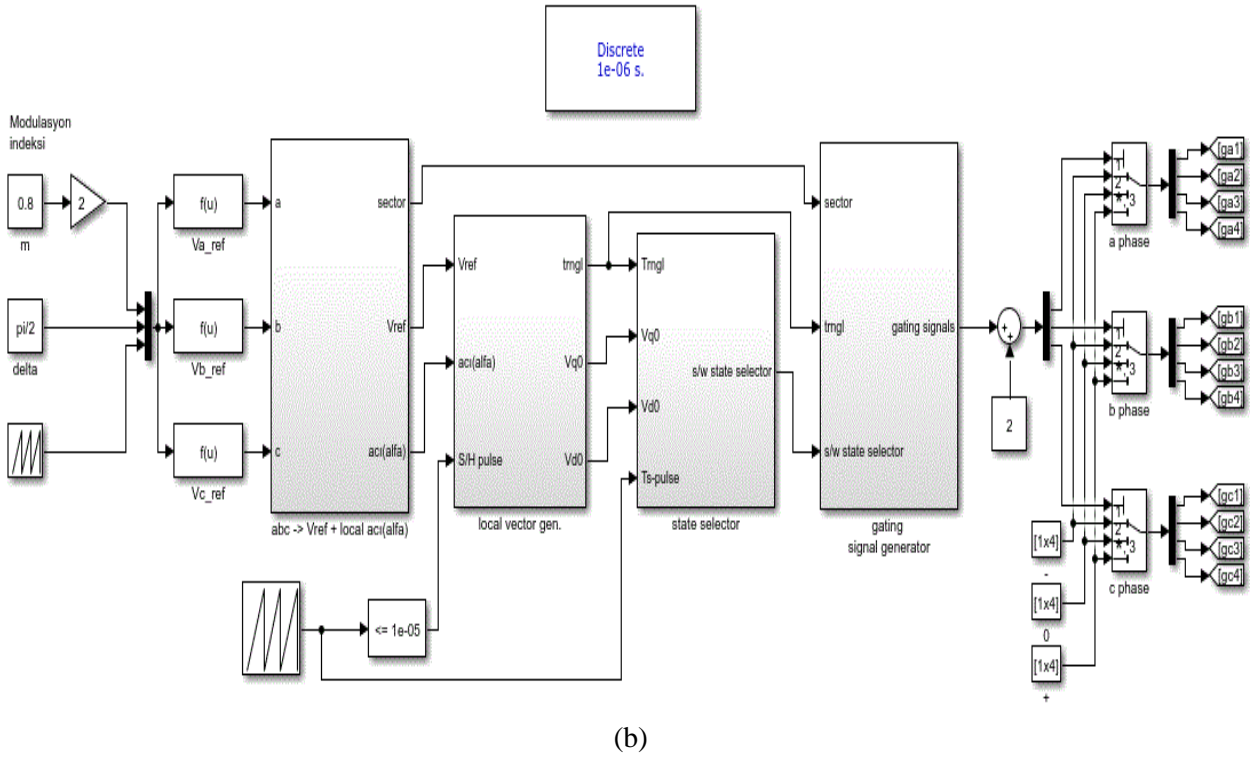
SDGM; Asenkron veya Senkron, açık çevrim, taşıyıcı tabanlıdır, Lineer modülasyon bölgesi düşüktür ( $0 < m < 0.785$ ), üçüncü harmonik ilave edilerek 0,907 ye artırılabilir.), Aşırı modülasyon aralığı doğrusal olmayan özellik gösterir, En düşük harmonik dalgalanmalar  $0 < m < 0,4$  aralığındadır, uygulanması kolaydır, Analog olarak uygulanır (düzenli örnekleme yöntemi ile dijital olarak uygulanabilir.)

UVDGM; Asenkron veya senkron açık çevrim, taşıyıcı tabanlı olmayan bir yöntemdir, Nötrü izoleli üç fazlı eviricilerde çok iyidir, Lineer modülasyon bölgesi geniştir. ( $0 < m < 0.907$ ), Aşırı modülasyonda kare dalgaya kadar kolayca doğrusallaştırma olanağı vardır, En düşük harmonik dalgalanmalar lineer bölgede meydana gelir, Yoğun ve karmaşık hesaplamalar içerir, Mikroişlemci ve DSP gerektirir. (dijital bir yöntemdir.) (Asker ve ark., 2009)

**Tablo 2.** R/R-L yüklü SDGM ve UVDGM için benzetim parametreleri

Evirici Giriş Gerilimi ( $V_{DA}$ )	SDGM = 777.817 V UVDGM = 550.082 V
Evirici Çıkış Gerilimi ( $V_{AA}$ )	SDGM = 311 V UVDGM = 311 V
Şebeke Frekansı	50 Hz
Transformatör	4.5 KVA
Filtre	200 W(aktif), 30.86 $\mu$ F, 380 V <sub>tt</sub> (rms)
Modülasyon İndeksi ( $M_i$ )	0.8
Yük: R için	4 KW (Omik)
Yük: R-L için	4 KW (Omik), 4.775 H, 380V <sub>tt</sub> (rms)





Şekil 2. (a) R / R-L yüklü iki seviyeli SDGM eviricinin benzetimi

(b) R / R-L yüklü üç seviyeli UVDGM eviricisinin giriş sinyallerinin üretildiği MATLAB/Simulink benzetim modeli

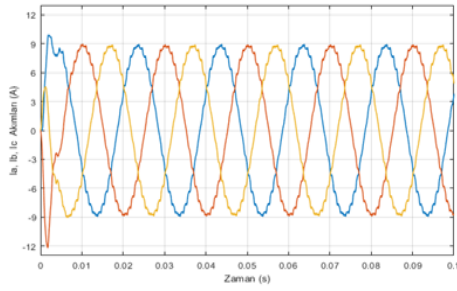
### Benzetim Sonuçları

Bu bölümde her iki yöntemin farklı yüklerde kullanılması sonucu elde edilen benzerim sonuçları verilmiştir.

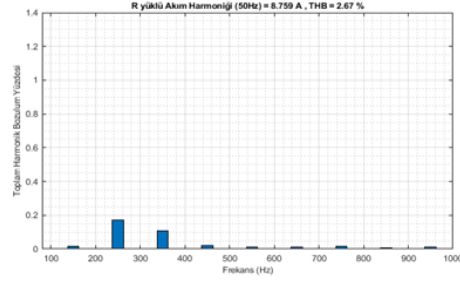
#### A) Rezistif yük kullanılması sonucu iki yöntemin karşılaştırılması

#### 1) İki Seviyeli SDGM Tekniğinin Benzetim Sonuçları

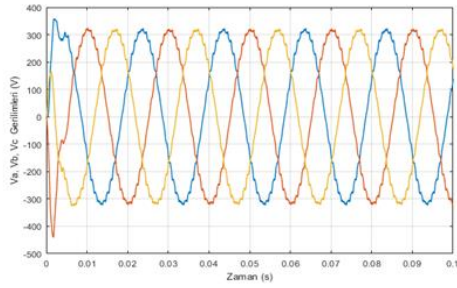
R yüklü iki seviyeli SDGM'nin benzetim sonuçlarından  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  akım dalga şekilleri Şekil 3.(a)'da; bu akımların harmonik spektrumu ise Şekil 3.(b)'de verilmiştir.  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  gerilim dalga şekilleri Şekil 3.(c)'de; bu gerilimlerin harmonik spektrumu ise Şekil 3.(d)'de verilmiştir. Aktif ve reaktif güce ait dalga şekli ise Şekil 3.(e)'de verilmiştir.



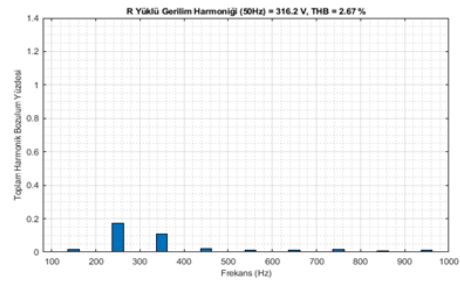
(a)



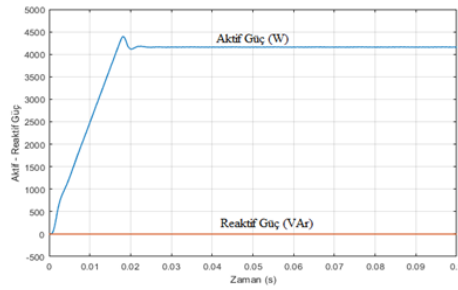
(b)



(c)



(d)



(e)

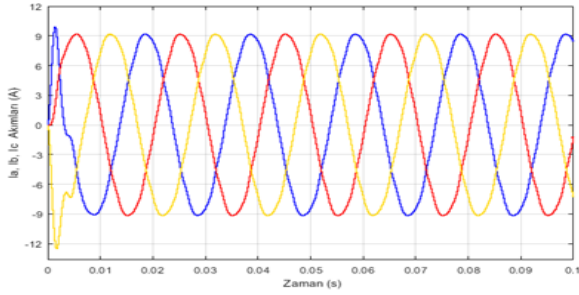
- Şekil 3.** (a)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yükü SDGM'nin  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  akımlarının akım dalga şekilleri  
(b)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yükü SDGM'nin  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  akımlarının harmonik spektrumu  
(c)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yükü SDGM'nin  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  gerilim dalga şekilleri  
(d)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yükü SDGM'nin  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  gerilimlerin harmonik spektrumları  
(e)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yükü SDGM'nin aktif ve reaktif güç dalga şekli

## 2) Üç Seviyeli UVGDM Eviricinin Benzetim Sonuçları

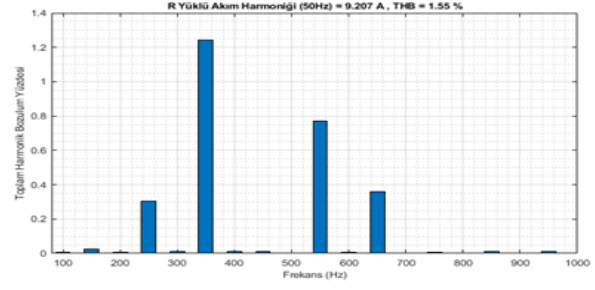
R yükü iki seviyeli üç seviyeli UVDGM'nin benzetim sonuçlarından  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  akım dalga şekilleri Şekil 4.(a)'da; bu akımların harmonik spektrumu ise Şekil 4.(b)'de verilmiştir.  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  gerilim dalga

şekilleri Şekil 4.(c)'de; bu gerilimlerin harmonik spektrumu ise Şekil 4.(d)'de verilmiştir. Aktif ve reaktif güce ait dalga şekli ise Şekil 4.(e)'de verilmiştir.

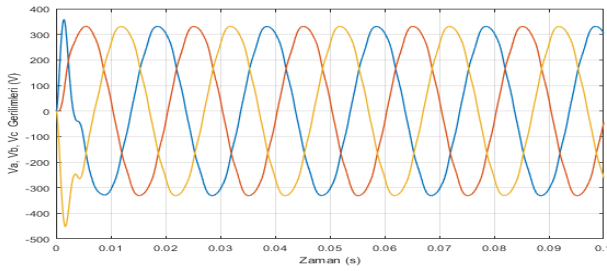
Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.947759



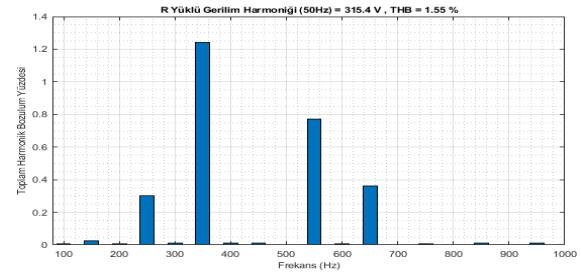
(a)



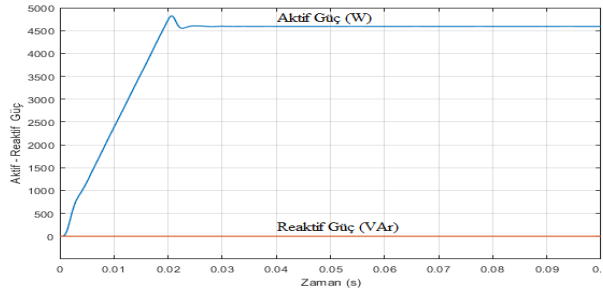
(b)



(c)



(d)



(e)

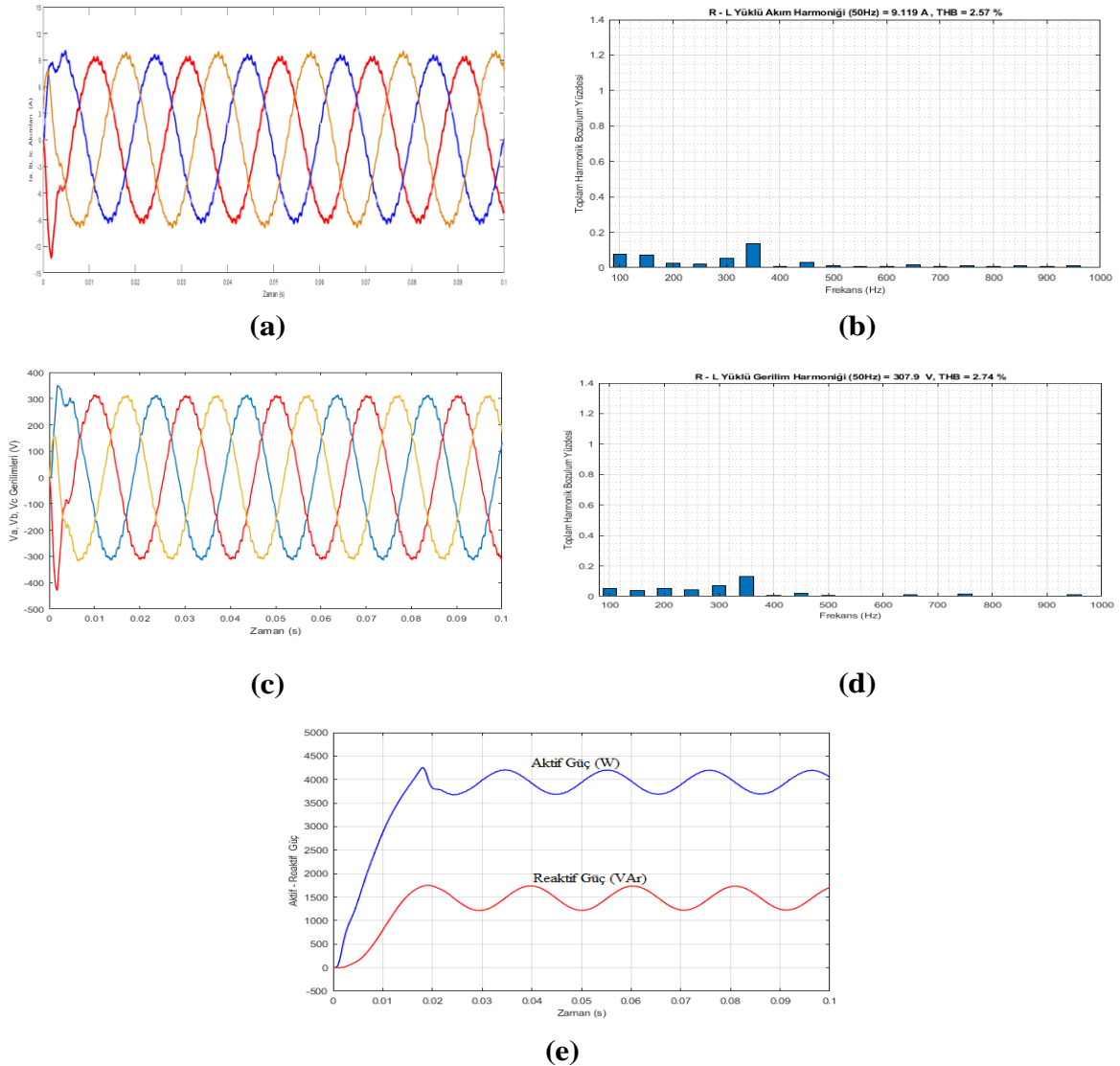
- Şekil 4.** (a)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yüklü UVDGM'nin  $I_a, I_b, I_c$  akımlarının akım dalga şekilleri  
(b)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yüklü UVDGM'nin  $I_a, I_b, I_c$  akımlarının harmonik spektrumu  
(c)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yüklü UVDGM'nin  $V_a, V_b, V_c$  gerilim dalga şekilleri  
(d)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yüklü UVDGM'nin  $V_a, V_b, V_c$  gerilimlerin harmonik spektrumları  
(e)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R yüklü UVDGM'nin aktif ve reaktif güç dalga şekli

## B) Rezistif-endüktif yük kullanılması sonucu iki yöntemin karşılaştırılması

### 1) İki Seviyeli SDGM Tekniğinin Benzetim Sonuçları

SDGM'nin benzetim sonuçlarından  $I_a, I_b, I_c$  akım dalga şekilleri Şekil 5.(a)'da; bu akımların harmonik spektrumu ise Şekil 5.(b)'de verilmiştir.  $V_a, V_b, V_c$

gerilim dalga şekilleri Şekil 5.(c)'de; bu gerilimlerin harmonik spektrumu ise Şekil 5.(d)'de verilmiştir. Aktif ve reaktif güce ait dalga şekli Şekil 5.(e)'de verilmiştir.



**Şekil 5.** (a)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü SDGM'nin  $I_a, I_b, I_c$  akımlarının akım dalga şekilleri  
(b)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü SDGM'nin  $I_a, I_b, I_c$  akımlarının harmonik spektrumu  
(c)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü SDGM'nin  $V_a, V_b, V_c$  gerilim dalga şekilleri  
(d)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü SDGM'nin  $V_a, V_b, V_c$  gerilimlerin harmonik spektrumları  
(e)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü SDGM'nin aktif ve reaktif güç dalga şekli

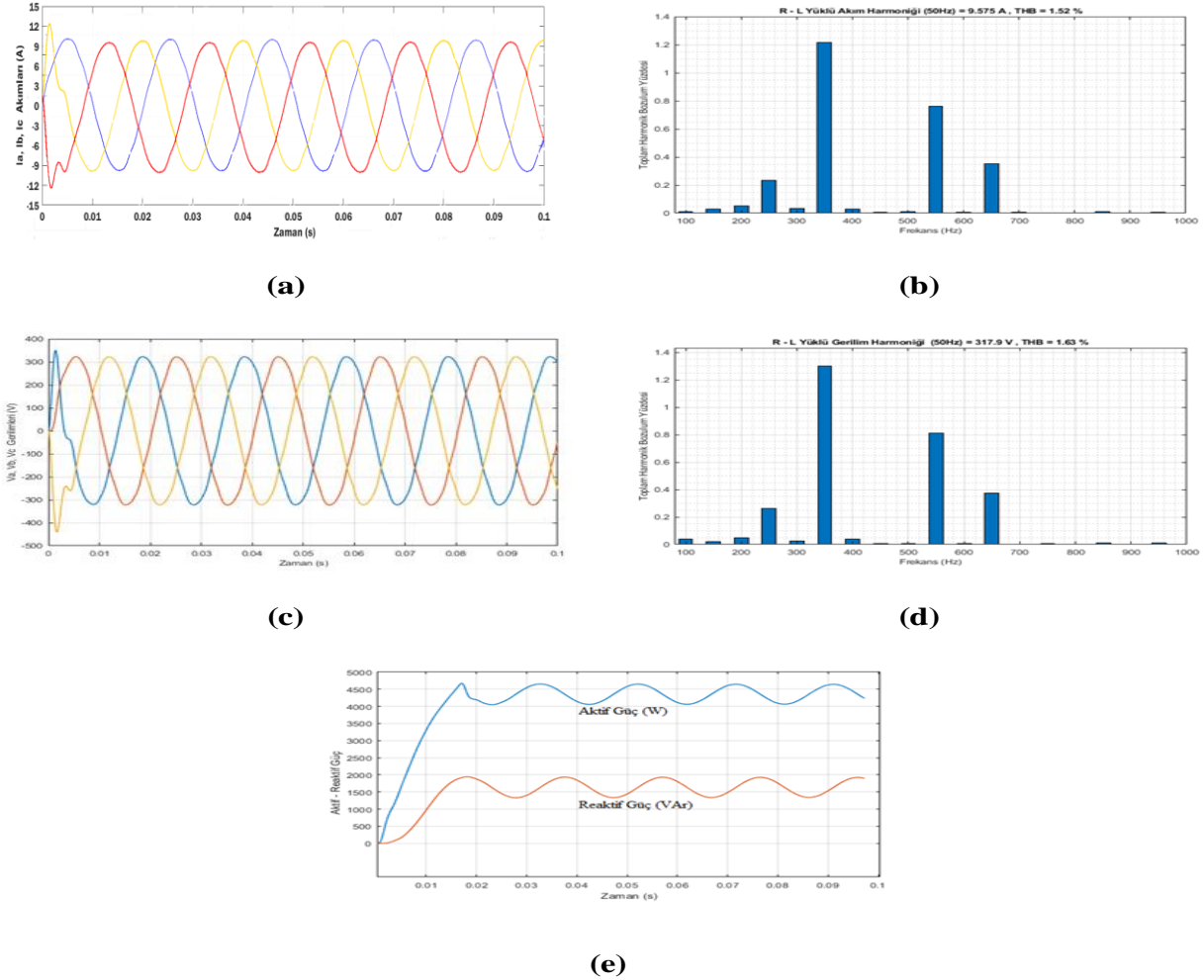
## 2) Üç Seviyeli UVDGM Tekniğinin Benzetim Sonuçları

UVDGM evircisinin benzetim sonucu Tablo 2'deki parametreler kullanılarak elde edilmiştir. Bu parametrelerden  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  hat geriliminin ise farklı olduğu R-L yüklü UVDGM'nin benzetim sonuçlarından  $I_a, I_b, I_c$  akım dalga şekilleri Şekil 6.(a)'da; bu akımların harmonik spektrumu ise Şekil 6.(b)'de verilmiştir.

$V_a, V_b, V_c$  gerilim dalga şekilleri Şekil 6.(c)'de; bu gerilimlerin harmonik spektrumu ise Şekil 6.(d)'de verilmiştir. Aktif ve reaktif güce ait dalga şekli ise Şekil 6.(e)'de verilmiştir.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.947759



**Şekil 6.** (a)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü UVDGM'nin  $I_a, I_b, I_c$  akımlarının akım dalga şekilleri  
(b)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü UVDGM'nin  $I_a, I_b, I_c$  akımlarının harmonik spektrumu  
(c)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü UVDGM'nin  $V_a, V_b, V_c$  gerilim dalga şekilleri  
(d)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü UVDGM'nin  $V_a, V_b, V_c$  gerilimlerin harmonik spektrumları  
(e)  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimi farklı olan R-L yüklü UVDGM'nin aktif ve reaktif güç dalga şekli

Elde edilen sonuçlara ait sayısal değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablodaki verilerden yola çıkarak;

1. Aynı çıkış gerilimi elde etmek için UVDGM tekniğinde SDGM tekniğine kıyasla daha küçük  $V_{DA}$  hat gerilimi kullanılır. Diğer bir ifadeyle UVDGM tekniğinde daha düşük giriş gerilimi kullanılarak aynı çıkış gerilimi elde edilir.

2. UVDGM tekniği SDGM tekniğine kıyasla daha düşük harmonik bozunuma sahiptir.

3. Teorik olarak hesaplanan çıkış gerilimi ile benzetimler neticesinde elde edilen çıkış gerilimleri birbirine yakındır.

4. Tablo 3'te R / R-L yüklü SDGM ve UVDGM benzetimi sonucunda elde edilen akım ve gerilime ait toplam harmonik bozulma seviyesinin uluslararası standartlarda belirtilen değer olan akım için %3, gerilim için %5'in atında olduğu görülmektedir. Böylece yapılan benzetim çalışmasının sonucunun doğru ve standartları sağladığı da tespit edilmiştir.

**Tablo 3.**  $M_i$  aynı  $V_{DA}$  gerilimleri farklı olan R / R-L yükleri için benzetim sonuçları

<b>R Yüklü Benzetim Sonuçları</b>				
	<b>SDGM</b>		<b>UVDGM</b>	
Giriş gerilimi ( $V_{DA}$ )	777.817 V		550.082 V	
Çıkış gerilimi (Etkin değer)	Teorik Sonuç	Benzetim Sonucu	Teorik Sonuç	Benzetim Sonucu
	311.126 V	316.2 V	311.126 V	315.4 V
Yük Akımı % (THB)	% 2.67		% 1.55	
Yük Gerilimi % (THB)	% 2.67		% 1.55	
<b>R – L Yüklü Benzetim Sonuçları</b>				
	<b>SDGM</b>		<b>UVDGM</b>	
Giriş gerilimi ( $V_{DA}$ )	777.817 V		550.082 V	
Çıkış gerilimi (Etkin değer)	Teorik Sonuç	Benzetim Sonucu	Teorik Sonuç	Benzetim Sonucu
	311.126 V	307.9 V	311.126 V	317.9 V
Yük Akımı % (THB)	% 2.57		% 152	
Yük Gerilimi % (THB)	% 2.74		% 1.63	

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Darbe genişlik modülasyon teknikleri kıyaslandığında bu tekniklerin birbirlerine karşı çeşitli üstünlükleri vardır. Bu teknikler içerisinde en yaygın olarak kullanılan iki teknik karşımıza çıkmaktadır. Biri SDGM tekniği, diğeri ise UVDGM tekniğidir.

Mikroişlemcilerde yaşanan gelişmeler ile beraber yeni darbe genişlik modülasyon teknikleri geliştirilmiştir. UVDGM tekniği, bu gelişmelerin bir ürünüdür. UVDGM ile çıkış gerilimi istenilen frekans ve genlikte ayarlanmakta ve mikroişlemciler yardımıyla oldukça kolay bir şekilde uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada şebekeden bağımsız iki seviyeli SDGM ile üç seviyeli UVDGM eviricilerinin MATLAB/Simulink benzetim modeli gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3'te verilen benzetim sonuçları incelendiğinde; UVDGM eviricinin SDGM'ye göre daha az harmonik bozuluma sahip olduğu, daha düşük hat gerilimi ile aynı çıkış gerilimi elde edildiği görülmektedir. UVDGM eviricisine ait bu sonuçlar göz önüne alındığında UVDGM tekniğinin SDGM tekniğine nazaran daha iyi bir performans gösterdiği

yapılan benzetimler neticesinde tespit edilmiştir. Ayrıca, teorik hesaplamalarla benzetim sonuçlarının da birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durum da sistemin doğru sonuçlar gösterdiğini teyit etmektedir.

SDGM ve UVDGM evirici türlerinin geniş bir uygulama alanı olduğundan gerek akademik alanda gerek de endüstriyel alanda AR-GE çalışmaları sürekli yapılmaktadır. Bu yüzden bu alan popülerliğini yitirmeyeceği gibi bu alanda yapılacak daha optimum özellikli evirici ciddi bir kazanç sağlayacaktır. Dolayısıyla gelişmeleri takip etmek ve daha optimum özellikli evirici tasarımı gerçekleştirmek gittikçe önem kazanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu makale birinci yazarın yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

## 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

- Akmaz, D., Mamiş, M.S., Gülan, H., Şeker, B. (2016). İki farklı darbe genişlik modülasyonlu evirici tasarımı ve bu eviricilerin akıllı şebekeler için kıyaslanması. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC)*, Çukurova Üniversitesi, Adana / Türkiye Ekim 26-28.
- Arslanoğlu İ. (2019). Şebekeden Bağımsız Sinüzoidal Darbe Genişlik ile Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonlarının Karşılaştırmalı Performans Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli
- Asker, M. E., Özdemir, M., Bayındır, M. I. (2009). Sinüzoidal DGM ile uzay vektör DGM yöntemlerinin karşılaştırılması incelenmesi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye.
- Beşer, E. (2009). Anahtarlama elemanı sayısı ve harmonik optimizasyonu ile bir fazlı çok seviyeli evirici tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Canbaz, R. (2014). Üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici ile çıkış geriliminin sabitlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Deniz, E. (2010). Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu kullanan üç seviyeli H-köprü evirici tabanlı D-statkom'un tasarımı ve gerçekleştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Eskin, A. (2012). Alternatif enerji sistemlerinde kullanılan çok seviyeli eviricilerin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fidanboy, H. (2011). Farklı darbe genişlik modülasyon teknikleri ile sürekli mıknatıslı senkron motorun performans analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kang D.W., Lee Y.H., Suh B.S., Choi C.H., Hyun D.S. (2000). An improved carrierwavebased SVPWM method using phase voltage redundancies for generalized cascaded multilevel inverter topology, *Applied Power Electronics Conference and Exposition. APEC 2000. Fifteenth Annual IEEE*, February, 542-548.
- Kerem A. (2012). 6 Anahtarlı 3 seviyeli evirici tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Kocalmış A. (2005). Uzay vektör PWM kontrollü çok seviyeli inverterin modellenmesi ve benzetimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kocalmış Bilhan, A. (2012). Bölge ve sektör tespitinde yapay sinir ağları kullanan uzay vektör darbe genişlik modülasyon kontrollü kaskat bağlı üç seviyeli evirici tasarımı, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kocatepe, C., Uzunoglu, M. ve Yumurtacı, R. (2003). Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Önder, H. İ. (2010). Basamaklı çok katlı eviricilerin asenkron motorlarda uygulanmasının analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Rathnakumar, D., Perumal, J.L., Srinivasan, T. (2005). A new software implementation of space vector PWM, *IEEE Southeast Conference*, India, 8-10 April, 131-136.
- Sünter, Z. (2013). Tek fazlı gerilim kaynaklı eviricilerde harmonik eiminasyonuelimasyonu için yeni bir yaklaşım, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Tuncer, S. (2004). Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu kullanan beş seviyeli inverter tasarımı ve uygulaması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elazığ.
- Yumurtacı, M. (2007). Çeşitli modülasyon tekniklerinin harmonik bozulma üzerindeki etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe

## TRIZ ile Problem Çözmede Sorunun Yeniden Tanımlanması: Problem Formülasyonu

Ali Kılıç, Mehmet Erkan Kütük\*, Sadettin Kapucu

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 27310 Şehitkamil/Gaziantep, Türkiye  
akilic@gantep.edu.tr<sup>ID</sup>, \*mekutuk@gantep.edu.tr<sup>ID</sup>, kapucu@gantep.edu.tr<sup>ID</sup>  
Makale gönderme tarihi: 28.09.2020, Makale kabul tarihi: 21.05.2021

### Öz

Bir problemin yenilikçi/yaratıcı çözümlerinin bulunabilmesi için en önemli adım problem tanımının yeniden düzenlenmesidir. Problem tanımını verildiği gibi alıp kullanmak, problem çözücünün bakış açısını kısıtladığı gibi tamamen yanlış yola da yönlendirebilir. Bununla birlikte çelişki içeren yenilikçilik ve yaratıcılık gerektiren problemlerdeki çelişkileri belirlemek zor olabilmektedir. Bu çalışmada, problem tanımının düzenlenmesine ve çelişkilerin belirlenmesine yönelik geliştirilmiş olan 'problemi yeniden tanımlama' algoritmasının endüstride karşılaşılan 'taşıma sırasında ortaya çıkan palet devrilme' sorununa uygulanması sunulacaktır. Problemin yeniden nasıl ifade edileceğinden ve bunun için izlenen süreçten bahsedilecektir. Elde edilen yeniden tanımlamalar ile çözüme erişmek için kullanılacak TRIZ yöntemleri önerilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Çelişkiler, problem formülasyonu, problemin yeniden tanımlanması, TRIZ

## Redefining the Problem in Problem Solving with TRIZ: Problem Formulation

### Abstract

The most important step to find the innovative / creative solutions of a problem is the reorganization of the problem definition. Using the problem definition as given not only can restrict the point of view of the problem solver but also can lead him/her to the wrong path. However, it can be difficult to identify contradictions in problems that require contradictory innovation and creativity. In this study, the 'redefine the problem' algorithm, which was developed for the regulation of the problem definition and the determination of the contradictions, will be applied to the 'pallet tipping that occurs during transportation' problem encountered in the industry. How to re-express the problem and the process followed for it will be discussed. TRIZ methods that can be used to reach the solution with the obtained redefinitions will be proposed.

**Keywords:** Contradictions, problem formulator, problem redefinition, TRIZ

### GİRİŞ

Tasarım ve problem çözmenin ilk aşaması problemin tanımlanmasıdır. Birileri tarafından tanımlanan ya da çerçevesi çizilen problemin ilk önce problem çözücü/ler tarafından yeniden ifade edilmesi gerekir. Problemin/sorunun bütün yönleriyle anlaşılması ve geniş bir açıdan bakılabilmesine olanak sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmesi oldukça önemlidir. Böylelikle gerçekte çözülmesi gereken problemin ele alınması sağlanabilir. Problemi yeniden tanımlama adımı, tasarım ve problem çözmenin ilk adımı olarak bilinmesine karşın hem ihmal edilir hem de zor bir iştir, çünkü gerçek problemler sıklıkla çeşitli şekillerde gizlenir. Bilgi okyanusunun içerisinde gerçek problemi

soyutlayıp çıkarmak yetenekli bir kişinin bile çok zamanını alabilir. Kötü ifade edilen veya eksik bir biçimde ortaya konulan bir problem, problem çözücüyü imkânsız veya kabul edilemez/yanlış çözümlere yönlendirebilir. İkincil ya da üçüncül problemlere odaklanarak geçici çözüm bulunmasını sağlanabilir, ancak harcanan zamanı, parayı ve emeği en aza indirebilmek için gerçek problemi bulmak ve çözmek gereklidir. Problemi yeniden tanımlama ve birincil problemi belirleme yöntemleri arasında nedensel haritalama yöntemleri çoğu zaman merkezi bir rol oynamaktadır. Çünkü doğru kök nedenlerini bulmak, iyileştirme için fikir bulmakta kritik öneme sahip olabilmektedir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.801326

Çözümü zor olan problemler genellikle çelişki içerirler ve bu çelişkileri problem tanımından ortaya çıkarmak genellikle zor olabilmektedir. Ayrıca, problem çözümüne farklı yollardan yaklaşmak için tetikleyici yeniden tanımlanmış problem cümlelerine ihtiyaç vardır. İşte problem formülatorü, hem problemdeki çelişkileri açıkça ortaya koyduğu gibi, hem de yararlı fonksiyonlar ve zararlı fonksiyonlar ile ilgili problem çözüme için birçok yönlendirici problem tanımları vermektedir. Bu çalışmada, problem formülatorünün endüstriyel bir probleme uygulanmasından bahsedilecektir. Palet üzerine robotlar vasıtasıyla dizilen torba paketlerin taşıma sırasında devrilme problemini önlemeye yönelik bir çalışmadır. Firma yetkilileri tarafından yapılan problem tanımına, problem formülasyonunun uygulanması sonucundaki grafiksel gösterim ve yönlendirici problem cümlelerinin oluşturulması verilecektir. Bu cümlelerin yönlendirilmesi sonucunda problemlerin nasıl çözüleceği konusu ise uygun TRIZ yöntemlerinin seçilerek kullanılmasına kalacaktır. Dolayısıyla, bu çalışma sonucunda endüstriyel problemin çözümüne yönelik öneriler getirmekten ziyade, hangi yöntemlerin kullanılabilirliğine dair önerilerde bulunulacaktır.

## LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bir sorunun nedenlerini analiz etmek için Zihin Haritalama, Balık Kılçığı, FMEA (Hata Türleri ve Etki Analizi), Sebep-Sonuç Analizi, Problem Formülatorü gibi pek çok yöntem vardır (Lee ve ark., 2018). Ancak, bunların içerisinde özellikle üretim alanındaki yenilik projelerinde daha sık kullanılan kök nedensel ilişki haritalama yöntemlerinden birisi olan Problem Formülatorü dikkat çekmektedir. “İnovasyon nasıl yapılır?” sorusuna son zamanlarda “Yenilikçi/Yaratıcı Problem Çözme Teorisi, TRIZ” yöntemi önerilmektedir. TRIZ kolayca öğrenilebilir, öğretilen, kişiye/kişilere bağlı olmayan, sistematik bir biçimde uygulanabilen, dünya patentlerindeki teknolojilerinin kullanılmasına olanak veren popüler bir yöntemdir (Zusman ve Zlotin, 1999; Orloff, 2003; Şener, 2006; Durgun ve Doruk, 2015; Kaya, 2016; Ekmekçi ve Nebati, 2019).

Bir sistemin yararlı ve zararlı fonksiyonları arasındaki bağlantıyı göstermek için basit bir sebep-sonuç grafiğinin oluşturulması, problem formülasyon süreci olarak adlandırılır. Problem Formülatorü TRIZ yöntemlerinde kullanılabilir problem tanımlarını doğrudan verebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir

(Çeliktürk ve ark., 2005). Problem formülatorü, kök neden analizini yapmak, yenilikçi yaratıcı problem çözümünü gerektiren çelişkileri ve çözüme yönleri oluşturmak için geliştirilen bir yazılım bir modüldür (Zlotin ve ark., 1994). “5 Neden Sorusu” basit ağaç yapısı yerine zincir yapı kullanır. Dolayısıyla, yararlı fonksiyonlar, zararlı fonksiyonlar ve çelişkiler arasındaki ilişkiler görsel olarak gösterilebilmektedir. Bu gösterimlerden birçok problem çözüme tanımları oluşturulabilmektedir (Terninko ve ark., 1996).

## SEPERATÖR PROBLEMİ

Çocuk bezi makinelerinde üretilen bezler ürün ölçülerine göre paketlenmektedir ve bu paketlerde daha sonra Pazar tarafından belirlenmiş adetlerde torbalara doldurulmaktadır. Paketleme makinelerinden çıkan torbalar konveyör aracılığıyla depoya sevk edilerek, robotlar yardımı ile paletler üzerine belirlenen şekilde dizilmektedir. Bu dizim sırasında torba katmanları arasında kaymalar yaşanmaktadır (Kapucu ve ark., 2019<sup>a, b</sup>). Katmanlara seperatör konulmaksızın, paketler paletlere dizilirken/dizildiğinde veya konveyörler üzerinde harekete başlandığında Şekil 1 ve 2’de görüldüğü gibi devrilmeler/ayrılmalar olmaktadır.

Bu kaymaları önlemek ve düz bir zemin oluşturmak adına robot sisteminde katlar arasında seperatörler yerleştirilmektedir. Bu seperatörler yurtdışı menşeli olan 2 yüzü kaydırmaz materyalle kaplanmış bir yüzeye sahiptirler. Tedariki yurt dışından olduğu için hem maliyet hem de temrin konusunda sıkıntılar yaşanmaktadır. Genellikle de birkaç kullanımdan sonra deformasyona uğradıkları için kullanılamaz duruma gelmektedirler. Yerli seperatörler piyasada mevcuttur ancak, ithal muadilleri ile kıyaslandığında devrilmeleri engellemede yetersiz kalmaktadır.

Paletleme işlemi tamamlandığında paletler, paketleme hattından alınıp stok alanına taşımaya kadar konveyörler üzerinde birkaç defa dur kalk yapmaktadır. Bu hareketler yatay düzlemde olmaktadır. Ayrıca bir defa da dikey yönde dur kalk yapmaktadır. Bu hareketlerin haricinde ana depoya taşınırken de çatallı taşıyıcı ile taşınmaktadır. Uygun seperatör olmadığında paketler dur-kalk sırasında ve çatallı taşıyıcıda oluşan ivmelenmeler nedeniyle birbirleri üzerinde kolayca hareket ederek devrilmektedir.

Ayrıca, seperatör olmasına rağmen depolama alanında bekleyen bu ürünler bir süre sonra kaymaya

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.801326

başlamaktadır. Bu nedenle depolama alanında hem yetersiz alan hem de görüntü kirliliği oluşmaktadır. Dağılan paletlerin yeniden düzenlenmesi, sayımı ve kontrolü ekstra bir iş yükü oluşturmaktadır. Firma seperatör problemlerine çözüm aramaktadır.



Şekil 1. Taşıma arabasının ivmelenmesine bağlı olarak devrilmeler (Kapucu ve ark., 2019<sup>a</sup>)

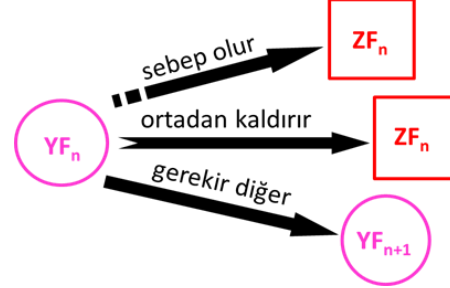


Şekil 2. Palet üzerinde dizim sırasında torbaların birbirinden ayrılması (Kapucu ve ark., 2019<sup>a</sup>)

## PROBLEM FORMÜLASYONU

Problem formülasyon grafiğinin oluşturulması sırasında Zararlı (ZF) ve Yararlı Fonksiyonlar (YF) arasında genellikle üç tür bağlantı vardır. Bu bağlantılar Şekil 3'te verilmiştir. Bu şekilde problemde tanımlanan olumlu ya da olması gereken nitelikler (YF) daire içerisinde, sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkileyen nitelikler (ZF) ise dikdörtgenler ile gösterilmiştir. Yakın ilişkide olan ZF ya da YF arasındaki bağlantı da yine değişik oklarla gösterilmiştir.

Bu ilişkiler aynı zamanda sebep sonuç cümlelerini vermektedir. Yukarıdaki tanımlanan problem incelendiğinde yararlı fonksiyonlar/işlevler ile zararlı fonksiyonlar/işlevler arasındaki bağlantıları şu şekilde ifade etmek mümkündür.

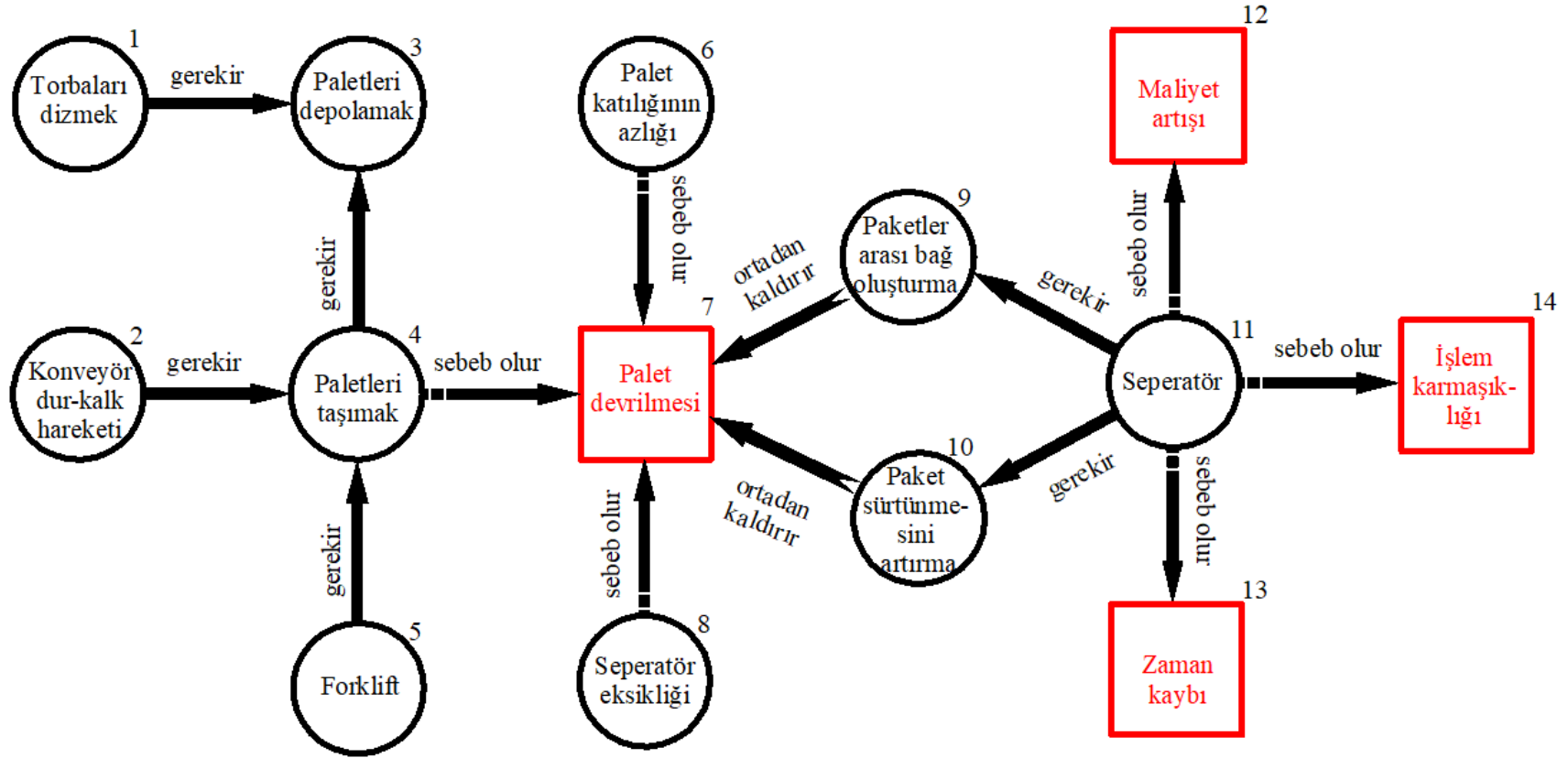


Şekil 3. Zararlı (ZF) ve Yararlı Fonksiyonları (YF) arasındaki üç tür bağlantı

- (Seperatör) gerekir (palet devrilmesini önlemek) için,
- (Seperatör) sebep olur [zaman kaybına],
- (Seperatör) sebep olur [maliyet artışına],
- (Seperatör) sebep olur [işlem karmaşıklığına],
- (Seperatör) gerekir diğer (bağ oluşturmak) için,
- (Seperatör) gerekir diğer (sürtünmeyi artırmak) için,
- (Seperatör) gerekir (üst üste dizilen paketlerin ezilmesini önlemek) için,
- (Forklift) gerekir (paletleri taşımak) için,
- (Forklift) sebep olur [palet devrilmesine],
- (Dur-kalk) gerekir (paleti konveyörde taşımak) için,
- (Dur-kalk) sebep olur [palet devrilmesine],
- (Paletlere paketleri dizmek) gerekir (depolamak) için,
- (Paletleri taşımak) gerekir (depolamak) için.

Burada bahsedilen ZF ve/veya YF arasındaki bağlantıları (sebeplendirme ilişkilerini) grafik olarak bir bütün halinde Şekil 4'teki gibi göstermek mümkündür. Bu şekildeki numaralar düğüm noktalarını göstermektedir. Düğüm noktaları için; kötüleşen nitelikler için önleyici, olumlu nitelikler için alternatif ve hem sebebiyet veren hem de gerektiren çıkışları olan için de çelişki ifadeleri yazılabilir. Bu şekilde problem ile ilgili aşağıda da verildiği gibi, birçok alt problem ifadeleri oluşturulabilir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.801326



Şekil 4. Palet taşıma sırasındaki palet devrilmeleri probleminin formülasyon grafiği

1  
2  
3

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.801326

- 1a. (Paletleri depolamak) için (Torbaları dizme) gerektirmeyen alternatif bir yol bul.  
1b. (Torbaları dizme)'nin geliştirilmiş bir yolunu bul.
- 2a. (Paletleri taşımak) için (Konveyör dur-kalk hareketi) gerektirmeyen alternatif bir yol bul.  
2b. (Konveyör dur-kalk hareketi)'nin geliştirilmiş bir yolunu bul.
- 3a. (Paletleri depolamak) için, (Torbaları dizme)'yi sağlayan ve (Paletleri taşıma)'yı gerektirmeyen alternatif bir yol bul.  
3b. (Paletleri depolama)'nın geliştirilmiş bir yolunu bul.
- 4a. (Paletleri taşıma) için, (Paletlerin depolanması)'nı sağlayan ve aynı zamanda [Palet devrilmesi]'ne sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
4b. (Palet taşıma)'yı geliştirmenin bir yolunu bul.  
4c. ÇELİŞKİYİ çözümenin bir yolunu bul: (Palet taşıma), (Palet depolama)'yı sağlasın fakat [Palet devrilmesi]'ne sebep olmasın.  
4d. (Palet taşıma) için, (Konveyör dur-kalk hareketi)'ni sağlayan ve aynı zamanda [Palet devrilmesini] engelleyen alternatif bir yol bul.  
4e. (Palet taşıma) için, (Paletleri depolama)'yı sağlayan ve aynı zamanda (Forklift) gerektirmeyen alternatif bir yol bul.
- 5a. (Paletleri taşımak) için (Forklift) gerektirmeyen alternatif bir yol bul.  
5b. (Forklift)'in geliştirilmiş bir yolunu bul.
- 6a. (Palet katılığının azlığı) durumunda [Palet devrilmesi]'ne sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
6b. (Palet katılığının azlığı)'nı geliştirmenin bir yolunu bul.
- 7a. (Palet taşıma) altındaki durumda (Paketler arası bağ oluşumu)'na gerek kalmaksızın [Palet devrilmesi]'ni ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.  
7b. (Palet katılığının azlığı) altındaki durumda (Paketler arası bağ oluşumu)'na gerek kalmaksızın [Palet devrilmesi]'ni ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.  
7c. (Seperatör eksikliği) altındaki durumda (Paketler arası bağ oluşumu)'na gerek kalmaksızın [Palet devrilmesi]'ni ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.
- 7d. (Palet taşıma) altındaki durumda (Paketler arası sürtünmeyi artırma)'ya gerek kalmaksızın [Palet devrilmesi]'ni ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.  
7e. (Palet katılığının azlığı) altındaki durumda (Paketler arası sürtünmeyi artırma)'ya gerek kalmaksızın [Palet devrilmesi]'ni ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.  
7f. (Seperatör eksikliği) altındaki durumda (Paketler arası sürtünmeyi artırma)'ya gerek kalmaksızın [Palet devrilmesi]'ni ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.  
7g. [Palet devrilmesi]'nden yararlanmanın bir yolunu bulun.
- 8a. (Seperatör eksikliği) durumunda [Palet devrilmesi]'ne sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
8b. (Seperatör eksikliği)'ni geliştirmenin bir yolunu bul.
- 9a. (Paketler arası bağ oluşturmak) için (Seperatör)'e gereksinim duymayan [Palet devrilmesi]'ni engelleyen alternatif bir yol bul.  
9b. (Paletler arası bağ oluşturma)'nın geliştirilmiş bir yolunu bul.
- 10a. (Paketler arası sürtünmeyi artırmak) için (Seperatör)'e gereksinim duymayan [Palet devrilmesi]'ni engelleyen alternatif bir yol bul.  
10b. (Paketler arası sürtünmeyi artırma)'nın geliştirilmiş bir yolunu bul.
- 11a. (Paketler arası bağ oluşturması) için (Seperatör) sağlayan ve aynı zamanda [Maliyet artışına]'na sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
11b. (Paketler arası bağ oluşturması) için (Seperatör) sağlayan ve aynı zamanda [İşlem karmaşıklığı]'na sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
11c. (Paketler arası bağ oluşturması) için (Seperatör) sağlayan ve aynı zamanda [Zaman kaybı]'na sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
11d. (Paketler arası sürtünmeyi artırmak) için (Seperatör) sağlayan ve aynı zamanda [Maliyet artışına]'na sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
11e. (Paketler arası sürtünmeyi artırmak) için (Seperatör) sağlayan ve aynı zamanda [İşlem karmaşıklığı]'na sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
11f. (Paketler arası sürtünmeyi artırmak) için (Seperatör) sağlayan ve aynı zamanda [Zaman kaybı]'na sebep olmayan alternatif bir yol bul.  
11g. (Seperatör) geliştirmenin bir yolunu bul.



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.801326

- 11h. ÇELİŞKİYİ çözenin bir yolunu bul: (Seperatör), (Paketler arası bağ oluşumu)'nu sağlasın fakat [Zaman kaybı]'na sebep olmasın.
- 11i. ÇELİŞKİYİ çözenin bir yolunu bul: (Seperatör), (Paketler arası bağ oluşumu)'nu sağlasın fakat [İşlem karmaşıklığı]'na sebep olmasın.
- 11j. ÇELİŞKİYİ çözenin bir yolunu bul: (Seperatör), (Paketler arası bağ oluşumu)'nu sağlasın fakat [Maliyet artışı]'na sebep olmasın.
- 11k. ÇELİŞKİYİ çözenin bir yolunu bul: (Seperatör), (Paketler arası sürtünmeyi artırma)'yı sağlasın fakat [Zaman kaybı]'na sebep olmasın.
- 11l. ÇELİŞKİYİ çözenin bir yolunu bul: (Seperatör), (Paketler arası sürtünmeyi artırımı)'nı sağlasın fakat [İşlem karmaşıklığı]'na sebep olmasın.
- 11m. ÇELİŞKİYİ çözenin bir yolunu bul: (Seperatör), (Paketler arası sürtünme artırma)'yı sağlasın fakat [Maliyet artışı]'na sebep olmasın.
- 12a. [Maliyet artışı]'nı ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.
- 12b. [Maliyet artışı]'ndan yararlanmanın bir yolunu bulun.
- 13a. [Zaman kaybı]'nı ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.
- 13b. [Zaman kaybı]'ndan yararlanmanın bir yolunu bulun.
- 14a. [İşlem karmaşıklığı]'nı ortadan kaldırmak, azaltmak veya önlemek için bir yol bul.
- 14b. [İşlem karmaşıklığı]'ndan yararlanmanın bir yolunu bulun.

Yukarıda verilmiş problemin yeniden tanımlama cümleleri ile TRİZ yöntemleri kullanılmak istenilebilir. Bu durumda, probleme özgü tanımlamalar yerine yine TRİZ'de bahsedilen teknik parametreler/özellikler'in belirtilmesi gerekecektir. İlk on yedi problem tanım cümlesine bakıldığında, bunların teknik sistemin üst bileşenleri ile ilgili oldukları görülmektedir. Özellikle, fonksiyon iyileştirme veya alternatif yol bulma ile ilgili olanlar için teknik istemlerin ideale/mükemmelliğe giden aşamadaki aralığı kapatmak için etkiler veri tabanı kullanımı önerilebilir. 7c, 9a cümlesi TRİZ'deki Fiziksel çelişkiler yöntemine gönderme yapmaktadır. Seperatör olmasın ama palet devrilmesi de olmasın, diğer bir deyişle sistem (seperatör) olmasın fakat fonksiyon (palet devrilmesinin önlenmesi) sanki seperatör varmış gibi yerine getirilsin olarak ifade

edilebilir. Fiziksel çelişkilerin çözümü için ayırıştırma prensipleri kullanılmaktadır (Kapucu ve ark., 2019b). "Paketler arası bağ oluşturulması" ve "paketler arası sürtünmeyi artırmak için" ile başlayan cümleler ise teknik sistemdeki "sürtünme" parametresinin "iyileştirilmesi"/"artırılması"nı içermektedir. Bunun için ise yine TRİZ'in çözüm bulma yöntemlerinden olan ideal nihai sonuca erişmek için kullanılan TRİZ etkiler veri tabanından çözüm önerilerine erişilebilir (Kapucu ve ark., 2019a). Çelişkiler içeren cümlelere bakıldığında bazılarının doğrudan TRİZ'de problemleri ifade etmek için kullanılan 39 teknik parametre ile ifade edildikleri görülmektedir; "Zaman kaybı", "İşlem karmaşıklığı" gibi. Teknik parametrelerden bazıları ise üstü kapalı bir biçimde tanımlı olup bunların da problem cümlelerinden kolayca çıkarılabilmesi mümkündür. Örneğin, "Güvenilir olması", "Şekil" (palet bütünlüğünün korunması), Nesnenin etkilendiği zararlı faktörler, "Verimlilik" ve benzerleri gibi. O halde, oluşan problem tanımlarından iyileştirilmek istenilen ya da kötüleşen teknik parametreler kolayca belirlenebilir. Dolayısıyla, teknik çelişkilerin çözümü için çelişkiler matrisi kullanılarak çözüm bulmak olasıdır (Çeliktürk ve ark., 2005). Tüm bunların haricinde, palet devrilmesi probleminin "Operasyon Alanı"nın katmanları arası olduğu problem tanımlarından anlaşılacaktır. Buranın "Madde-Alan Modeli" yapılıp, 76 standart çözümden uygun olanları ile farklı çözüm önerileri sunulabilir. Tüm bu anlatılanlar dikkate alındığında, problem formülasyonunun problemin detaylı anlaşılması ve kullanılacak TRİZ yöntemlerinden hangilerinin seçilebileceği konusunda oldukça etkili bir yöntem olduğu görülmektedir.

## SONUÇLAR

Özellikle, yenilikçilik/yaratıcılık gerektiren zor problemler olarak nitelenen ve çelişki barındıran problemlerde çelişkilerin elde edilmesi tanımlanan problemde zaman zaman daha zor olmaktadır. Yenilikçi/yaratıcı problem çözme teorisine eklenen bu problem formülasyonu ile problemi çözmek için birçok yönlendirici cümleler oluşturulabilmekte, kök nedeni belirlenebilmekte ve çelişkiler kolayca elde edilebilmektedir. Bir yazılım programının bir parçası olarak geliştirilen ve patent ile koruma altına alınan bu yöntemin patent süresinin dolması göz önüne alındığında herkes tarafından kullanılmasında bir sakınca yoktur. Bu çalışmadan da anlaşıldığı üzere, tanımlı adımlar izlendiğinde problem çözücülere

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.801326

problemin yeniden tanımlamasına yönelik büyük kolaylıklar sağlanmaktadır. Çözüm için alternatif yönere bakma konusunda, yöntemleri belirlemede ve hatta çözüm üretmede oldukça yardımcı olduğu görülmektedir.

#### 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

- Çeliktürk, E. E., Kapucu, S. ve Yıldırım, N. (2005). Kavramsal tasarımda bir problemin tanımlanması ve yenilikçi- yaratıcı problem çözme metodolojisi ile çözüm önerileri. Makina Tek, Aylık İmalat ve Teknoloji Kültürü Dergisi, 92, 116-123.
- Durgun, İ. ve Doruk, E. (2015). TRIZ yaklaşımını kullanarak önden çarpmalı trafik kazalarında yayaların güvenlik koşullarının iyileştirilmesi. AKÜ FEMÜBİD, 15, 1-6.
- Ekmekçi, İ. ve Nebati, E.E. (2019). TRIZ methodology and applications. Procedia Computer Science, 158, 303-315.
- Kapucu S., Deniz M., Culfa G., Doğan B., Turan B., Yüksel M. V. ve Akdemir A. (2019<sup>a</sup>). İdeal sonuç yöntemini kullanarak taşıma sırasında palet stabilizesine ilişkin kavramsal tasarım. 4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye, 23-24 Nisan.
- Kapucu S., Deniz M., Culfa G., Doğan B., Turan B., Yüksel M. V. ve Akdemir A. (2019<sup>b</sup>). TRIZ fiziksel çelişkiler yöntemi ile taşıma sırasında palet stabilitesine ilişkin kavramsal tasarım. 4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye, 23-24 Nisan.
- Kaya, M. O. (2016). Dünya’da ve Türkiye’de TRIZ kullanan şirketler. <https://medium.com/@metinokaya/dünyada-ve-türkiye-de-triz-kullanan-şirketler-52fb26beea8c>, 23/09/2020.
- Lee, M.G., Chechurin, L. ve Lenyashin, V. (2018). Introduction to cause-effect chain analysis plus with an application in solving manufacturing problems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 99, 2159–2169.
- Orloff, M. A. (2003). Inventive thinking through TRIZ, a practical guide. Springer-Verlag.
- Şener, S.D. (2006). TRIZ: yaratıcı problem çözme teorisi ve diğer problem çözme yöntemleriyle karşılaştırma.




- Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Terninko, J., Zusman, A. ve Zlotin, B. (1996). Step-by-step TRIZ: creating innovative solution concepts. Responsible Management Inc.
- Zlotin, B., Bushuev, D., Haimov, E., Malkin, S., Zusman, A., Tikhonov, A. ve Pevnev, V. (1994). Automated problem formulator and solver, Patent no: US 5,581,663.
- Zusman, A. ve Zlotin B. (1999). Overview of creative methods. <https://www.metodolog.ru/triz-journal/archives/1999/07/e/index.htm>, 23/09/2020.

## Effect of Beta-Cyfluthrin Pesticide on Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*)

Osman Serdar<sup>1\*</sup>, Rahmi Aydın<sup>2</sup>, Hilal Söylemez<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Plant and Animal Production Department, Vocational School, Munzur University, Tunceli, Turkey

\*oserdar@munzur.edu.tr , raydin@munzur.edu.tr , hilalsoylemez6262@gmail.com 

Received date:01.10.2020, Accepted date: 21.10.2021

### Abstract

In this study, some biochemical responses of Beta-Cyfluthrin ( $\beta$ -CF), which is a commercial insecticide in *Dreissena polymorpha*, were investigated. The 96 hour LC50 value of  $\beta$ -CF on *D. polymorpha* was calculated as 509.62  $\mu\text{g L}^{-1}$ . *D. polymorpha* was exposed to sublethal concentrations (1/16, 1/8 and 1/4 of LC50 value: 32, 64 and 128  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) of  $\beta$ -CF for 24 and 96 hours. Malondialdehyde (MDA) and reduced glutathione (GSH) levels and Acetylcholinesterase (AChE) enzyme activities were determined in *D. polymorpha* individuals. In *D. polymorpha* exposed to  $\beta$ -CF, MDA levels increased compared to control and with increasing concentration. It was determined that GSH level decreased and AChE activity was inhibited compared to control and with increasing concentration.

In conclusion, exposure to  $\beta$ -CF resulted in increased oxidative damage and has been found to cause neurotoxicity even at low concentrations.

**Keywords:** Acetylcholinesterase,  $\beta$ -cyfluthrin, *Dreissena polymorpha*, glutathione, malondialdehyde

## Beta-Cyfluthrin Pestisitinin Zebra Midye (*Dreissena polymorpha*) Üzerindeki Etkisi

### Öz

Yapılan bu çalışmada, *Dreissena polymorpha*'da ticari insektisit olan Beta-Cyfluthrin ( $\beta$ -CF)'nin bazı biyokimyasal yanıtları araştırılmıştır.  $\beta$ -CF'nin *D. polymorpha* üzerindeki 96 saatlik LC50 değeri 509.62  $\mu\text{g L}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. *D. polymorpha*,  $\beta$ -CF'nin subletal konsantrasyonlar (LC50 değerinin 1/16, 1/8 ve 1/4'ü:32, 64 ve 128  $\mu\text{g L}^{-1}$ )'na 24 ve 96 saat süre ile maruz bırakılmıştır. *D. polymorpha* bireylerinde malondialdehit (MDA) ve redukte glutatyon (GSH) düzeyleri ile Asetilkolinesteraz (AChE) enzim aktiviteleri belirlenmiştir.  $\beta$ -CF'ye maruz bırakılan *D. polymorpha*'da, MDA seviyeleri kontrole kıyasla ve artan konsantrasyonla artmıştır. Kontrole kıyasla ve artan konsantrasyonla GSH seviyesinin azaldığı ve AChE aktivitesi inhibe olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak,  $\beta$ -CF'ye maruz kalan *D. polymorpha* bireylerinde oksidatif hasarda artışa, düşük konsantrasyonlarda bile nörotoksositeye neden olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Asetilkolinesteraz,  $\beta$ -cyfluthrin, *Dreissena polymorpha*, glutatyon, malondialdehit

### INTRODUCTION

Pesticides are defined as a substance or mixture of substances used to remove, reduce, suppress or degrade any pest. The pesticide can be a chemical agent or biological agents such as viruses and bacteria.

The use of pesticides has become almost mandatory to increase yield and quality in the agricultural field. When the advantages of pesticides such as increasing product quality and being economical are added to this, pesticide consumption has increased significantly (Tiryaki, 2010).

Cyfluthrin is a synthetic pyrethroid pesticide that contaminates aquatic ecosystems as a potential toxic contaminant (Benli, 2005). Since cyfluthrin is widely used in both urban and agricultural areas, it potentially acts on the river surfaces with which it is associated, causing toxicity to susceptible aquatic organisms. Since not all insecticides are specific, they not only kill target organisms, but also affect other vertebrate and invertebrate organisms. As a result of improper application of pesticides, it is included in the food chain by causing environmental

pollution and causes serious health problems (Güvenç and Aksoy, 2010).

Cyfluthrin, which has a wide area of use, is in motion on the river surfaces with which it is related in various ways. In this case, it causes toxicity to sensitive aquatic organisms (Dinçel et al., 2009). Enzyme systems to hydrolyze these chemicals when taken into their bodies by aquatic organisms are not sufficient (Benli, 2005).

Synapses use acetylcholine (ACh), which acts as a transmitter substance, creating targets for many types of pesticides. ACh transmits messages from the central nervous system (CNS) and sensor neurons to the CNS. Cholinergic synapses are called nicotinic and muscarinic synapses, and both are sensitive to ACh. Nicotinic receptors are located in the sodium channels of postsynaptic membranes in certain parts of the nervous system. By connecting two acetylcholine molecules, the channel opens, sodium enters and the impulse is transferred. Toxic substances affect the nervous system as they act as nicotinic and muscarinic in some parts of the nervous system (Stenersen, 2004).

Free radicals, stimulation of free radical production, initiation of lipid peroxidation (LPO), deterioration of the body's antioxidant capacity are due to the toxic mechanism of most pesticides (Mohammad et al., 2004). Pesticides have the ability to produce reactive oxygen species. The amount or proportion of reactive oxygen species produced increases due to excessive use of natural or synthetic pesticides (Livingstone, 2001). Free radicals are defined as species that have one or more unpaired electrons and are able to survive independently. Radicals are capable of reacting with other molecules in a variety of ways. So, if two radicals meet, they combine and convert their un-shared electrons into a paired electron pair structure (Halliwell and Chirico, 1993).

Oxidative stress and the reduction of the LPO antioxidant defense system or the increase in the production of reactive oxygen species (ROS) disrupt the ROS-antioxidant balance and cause oxidative stress. Disruption of the balance between pro-oxidants and antioxidants is defined as oxidative stress and causes oxidative damage to begin (Oruç, 2010). Oxidative stress may lead to disorders such as strand breaks in DNA, increase in intracellular free Ca<sup>2+</sup>, damage to the membranes of ion transporters or other special proteins, and LPO associated with

cell metabolism (Halliwell and Aruoma, 1991). The increase of oxyradical products that reduce the antioxidant defense system causes harmful biochemical and physiological effects. Two biochemical disorders caused by oxidative stress are LPO and protein carbonylation (Almroth et al., 2005).

LPO causes decrease in cell functions under oxidative stress conditions (Storey, 1996). LPO is the process of oxidative degradation of polyunsaturated fatty acids (PUFA), which occurs in biological membranes, weakening membrane functions, reducing membrane permeability, and causing inactivation of many membrane-bound enzymes (El-Gendy et al., 2010).

Malondialdehyde (MDA) is a natural degradation product of LPO (Munnia et al., 2004). It is characterized by the oxidation of the production of PUFAs in lipoproteins (Halliwell and Aruoma, 1991). MDA is extremely toxic to cells due to its high affinity for nucleic acids, enzymes, amino groups of proteins and thiols (Oropesa et al., 2009). It is used as a bioindicator in determining LPO (Dinçel et al., 2009).

Antioxidant defense mechanisms cells have different mechanisms to repair damaged macromolecules and to alleviate oxidative stress. Primary defense includes enzymatic and non-enzymatic antioxidants involved in the removal of ROS and free radicals (El-Gendy et al., 2010). These antioxidant enzymes are catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), glutathione reductase (GR), glutathione peroxidase (GPx), glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) and glutathione-S-transferase (GST), non-enzymatic glutathione (GSH). Vitamin E ( $\alpha$ -tocopherol) and Vitamin C (ascorbic acid) (Bebe and Panemangalore, 2005).

Small molecule antioxidant compounds (vitamins, flavonoids, carotenoids, uric acid, and GSH) serve as the second line of antioxidant defense. Non-enzymatic antioxidants prevent uncontrolled free radical formation, restrict the reactions of biological components and free radicals, and eliminate many free radicals that are responsible for the oxidation of endogenous antioxidants (Zama et al., 2007). Glutathione and GSH-related processes play a central role in antioxidant defense.

The zebra mussel (*D. polymorpha*) is one of the most important catching and invasive creatures living in freshwater ecosystems. Disrupting or

completely blocking the water flow with the biomass they create on the surfaces they hold, causing corrosion, blocking the water filter or sieves, causing clogging in closed irrigation systems, restricting the life of other creatures naturally found in the aquatic ecosystem, causing many important problems, both technical and It can be economically and ecologically harmful. Zebra mussels have a very wide life tolerance. They can adapt to prolonged hunger, dryness, very high and very low temperatures, quite different dissolved oxygen and calcium levels (Bobat et al., 2001).

Due to the long lifespan of freshwater mussels, limited mobility and filter feeding, biomarkers are used extensively and reliably in toxicological studies examining the pollution in aquatic ecosystems. Although *D. polymorpha* is recognized as an invasive species, it is also a suitable species as a model and biological monitoring organism and is used in aquatic ecosystems to investigate anthropogenic stress factors (Yıldırım et al., 2015; Alişer 2020).

In this study, the biochemical response of Zebra Mussel (*D. polymorpha*) against Beta-cyfluthrin ( $\beta$ -CF) pesticide with some biomarkers was investigated, since it is suitable as a scientific study material with its suitability to these features, economic value and accessibility.

## MATERIAL AND METHODS

### Chemical

$\beta$ -CF active ingredient pesticide used in the study Agrofarm Kimya San. ve Tic. A.S. Pointer SC 125 brand manufactured by the commercial firm was purchased.

### Test Organism

The *D. polymorpha* samples used in the study were obtained from Keban Dam Lake. *D. polymorpha* was collected manually and brought alive to Munzur University Faculty of Fisheries Aquatic Toxicology Research Laboratory in plastic containers with air reinforcement.

### Adaptation of *D. polymorpha* to Laboratory Conditions

*D. polymorpha* samples brought as alive to the laboratory were placed in 80x40x25 cm size stock aquariums. Photoperiod was applied in laboratory

lighting for 12 hours light and 12 hours dark. The ambient temperature was kept constant by adjusting to 18 °C during both the adaptation and test stages, thanks to the thermostat air conditioner. Cultured plankton were used to feed *D. polymorpha*.

An aquarium air motor and external filter were used to meet the oxygen demand in stock aquariums. During the adaptation, the health status of the organisms was observed and noted at certain periods.

Metric-meristic measurements of mussels were recorded before the experimental study. Individuals of similar height and characteristics were used in the studies. In order for the study results to be correct, healthy organisms with similar sizes and characteristics were used in the studies. The healthy ones of the organisms were decided by selecting individuals who react to sound and light by closing their shells.

### Determination of the LC50 value

The LC50 value in test organisms was determined by a static 96 hour acute toxicity test (OECD 202, 2004). In order to determine the acute lethal concentration of  $\beta$ -CF, range determination tests were performed first. After the range determination study, 5 different  $\beta$ -CF concentration groups (0.0, 12.5, 125, 500, 1000  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$   $\beta$ -CF) were formed, one of which was the control group, to determine the lethal concentrations in *D. polymorpha*. At these concentrations, dead individuals were noted and removed in 96 hours. LC50 value was calculated by using probit analysis with the obtained data. From the calculated LC50 value, the following 4 groups were formed (as 3 sublethal groups and control group).

- Control group,  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$   $\beta$ -CF (Group without any  $\beta$ -CF; Control24, 24 hour exposure group, Control96 96 hour exposure group)
- C1 group, about 1/16 of the 32  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$   $\beta$ -CF LC50 value (C1\_24; exposed to  $\beta$ -CF for 24 hours, C1\_96; exposed to  $\beta$ -CF for 96 hours),
- C2 group, about 1/8 of the 64  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$   $\beta$ -CF LC50 value (C2\_24; exposed to  $\beta$ -CF for 24 hours, C2\_96; exposed to  $\beta$ -CF for 96 hours),
- C3 group is about 1/4 of the 128  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$   $\beta$ -CF LC50 (C3\_24; exposed to  $\beta$ -CF for 24 hours, C3\_96; exposed to  $\beta$ -CF for 96 hours).

The organisms were exposed to  $\beta$ -CF concentrations determined in the formed groups and

kept in a -86 °C freezer to determine their biochemical responses at 24 and 96 hours. All experimental studies (range determination, LC50 value, and biochemical responses) were performed in triplicate.

### Dissection Procedures and Preparation of Supernatants

Test organism individuals were separated from each other with the help of scalpel and forceps. 0.5 g of the organism was weighed and homogenized using a homogenizer with ice, adding PBS buffer (phosphate buffered salt solution) at a ratio of 1/5:w/v. These homogenized samples were centrifuged at 17000 rpm for 15 minutes in a cooled centrifuge. The supernatants obtained were stored in a -86 °C freezer until the measurement process was completed.

### Determination of Biochemical Response

In the study, MDA and GSH levels and AChE enzyme activities were determined to determine the biochemical response.

The MDA (Catalog No 10009055) and GSH (Catalog No 703002) kits used in the study were purchased from CAYMAN. AChE enzyme has been revised from the method of Elman et al. (1961).

#### Determination of MDA Level

Determination of MDA levels was carried out using Cayman's TBARS Test Kit, which provides a simple, reproducible and standardized tool for LPO testing in mussel tissue homogenates. These values were calculated by measuring the acidic reaction of MDA and TBA at high temperature by spectrophotometer colorimetrically.

### Determination of GSH Level

Cayman branded GSH Test kit was used to measure GSH. The kit uses glutathione reductase enzymatic recycling for the GSH level. With this method, the Sulfhydryl group reacts with GSH, DTNB (5,5'-dithio-bis-2-(nitrobenzoic acid), Ellman's reagent) to produce yellow colored 5-thio-2-nitrobenzoic acid (TNB). Simultaneously produced mixed disulfide, GSTNB (between GSH and TNB) is reduced by glutathione reductase to recycle GSH and produce more TNB. The TNB production rate is directly proportional to this recycling reaction, which is directly proportional to the concentration of GSH in the sample. By

measuring the absorbance of TNB at 405-414 nm, the GSH level in the sample is determined.

### Determination of AChE Activity

AChE is an enzyme that catalyzes the decomposition reaction of acetylthiocholine with thiocholine into acetate. AChE activity was determined by measuring the intensity of the yellow color given by 5-thio-2-nitrobenzoic acid as a result of the reaction between thiocholine and 5,5'-dithio-bis (2-Nitrobenzoic acid) (DTNB) at 412 nm wavelength spectrophotometer (Elman et al. 1961).

### Statistical analysis

In this study, probit analysis was used to calculate the LC50 value. In the evaluation of biochemical analysis data, SPSS 24.0 package program one-way ANOVA (Duncan 0.05) was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Metric-meristic measurements

Metric-meristic measurements of mussels before biochemical analysis (length data (20.30 ± 1.92 mm length, 9.71 ± 0.99 mm height, 9.99 ± 0.94 mm width) with 0.001mm precision digital caliper and weight data (1.002 ± 0.268 g) with 0.001g precision. It was recorded by weighing with the scales.

### Lethal Concentration

The 96 hour LC50 value of  $\beta$ -CF on *D. polymorpha* was calculated as 509.62 ± 29.7  $\mu\text{g L}^{-1}$  by probit analysis.

Some biochemical responses (MDA, GSH and AChE) of test organisms at 24 and 96 hours are given in Table 1.

### MDA Level

The time-dependent changes of MDA levels in the test organism in which different concentrations of  $\beta$ -CF were applied with the control group are given in Figure 1. It was determined that the MDA levels in organisms exposed to  $\beta$ -CF increased in all groups (Figure 1) compared to the control group ( $p < 0.05$ ). It was determined that the MDA levels of the exposure time in the same concentration groups increased (Figure 1) ( $p < 0.05$ ).

### GSH Level

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.803520

The time-dependent changes of GSH levels in the control group and the test organism in which different concentrations of  $\beta$ -CF were applied are given in Table 1. It was determined that GSH levels in organisms exposed to-CF decreased in all groups compared to the control group (Figure 2) ( $p < 0.05$ ). It was determined that the GSH level decreased during the exposure time in the same concentration groups (Figure 2) ( $p > 0.05$ ).

### AChE Activity

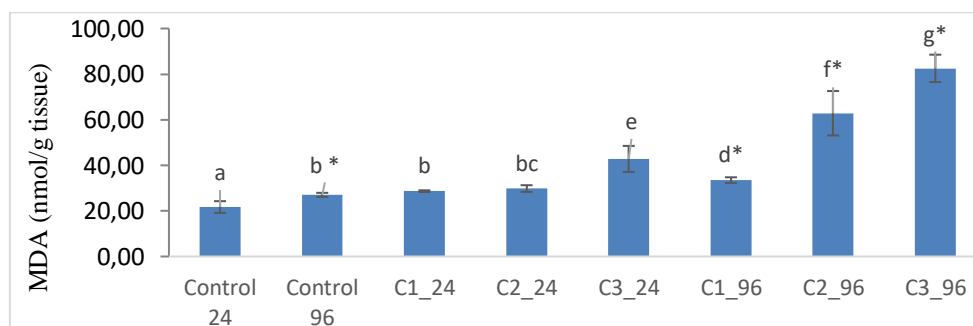
The time-dependent changes of AChE activity in the test organism in which different concentrations of  $\beta$ -CF were administered with the control group are given in Table 1. AChE activity was determined as  $0.58 \pm 0.01$  and  $0.43 \text{ U mg}^{-1}$  protein in the groups at the 24th and 96th hours of the study. AChE activity was found to be decreased in all groups compared to the control group ( $p < 0.05$ ). It was determined that the exposure time made a statistically significant difference in the same concentration groups only in the highest concentration group (C3\_24-96) (Figure 3).

**Table 1.** Changes in MDA, GSH levels and AChE activities in *D. polymorpha* exposed to  $\beta$ -CF concentrations.

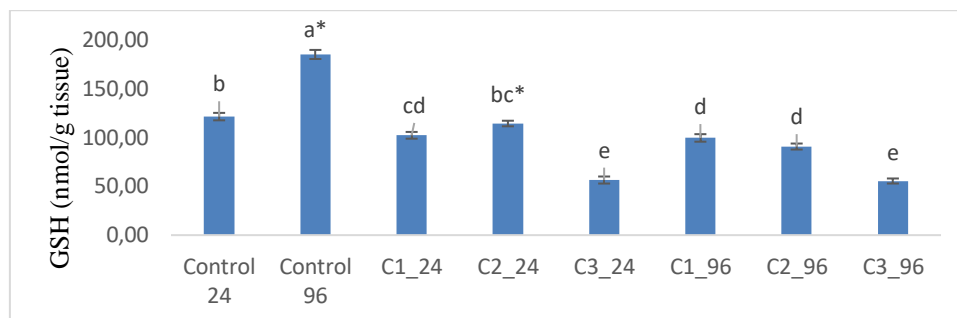
	MDA (nmol/g tissue)	GSH (nmol/g tissue)	AChE (U/mg protein)
Control 24	$21.70 \pm 2.6^a$ *	$121.23 \pm 3.8^b$	$0.58 \pm 0.01^a$
Control 96	$27.03 \pm 0.9^b$	$184.77 \pm 4.6^{a*}$	$0.57 \pm 0.00^a$
C1_24	$28.66 \pm 0.4^{b*}$	$102.09 \pm 3.5^{cd}$	$0.54 \pm 0.01^{ab}$
C2_24	$29.81 \pm 1.5^{bc*}$	$114.17 \pm 2.9^{bc*}$	$0.50 \pm 0.01^{bc}$
C3_24	$42.80 \pm 5.7^e$ *	$56.37 \pm 3.6^e$	$0.48 \pm 0.00^*$
C1_96	$33.51 \pm 1.2^d$	$99.42 \pm 3.9^d$	$0.51 \pm 0.01^{bc}$
C2_96	$62.84 \pm 9.7^f$	$90.62 \pm 3.1^d$	$0.48 \pm 0.03^c$
C3_96	$82.53 \pm 6.0^g$	$55.37 \pm 2.6^e$	$0.43 \pm 0.03^d$

a,b,c,d,e,f The difference between values with different letters in the same column was found to be statistically significant ( $p < 0.05$ ).

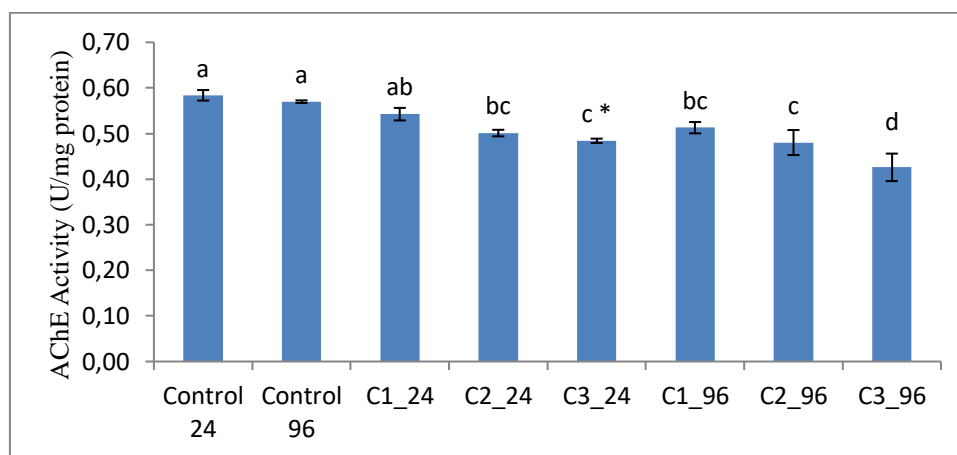
\* The difference between the values of the concentration group in the same column at different exposure times was found to be statistically significant ( $p < 0.05$ ).



**Figure 1.** MDA (nmol/g tissue) levels of *D. polymorpha* exposed to different concentrations of  $\beta$ -CF. Different letters on the bar (a, b, c, d, e, f, g) show statistical differences in all application groups in the same exposure time and asterisk (\*) shows statistical differences between different exposure time (24 and 96 h) in the same groups ( $p < 0.05$ ).



**Figure 2.** GSH (nmol/g tissue) levels of *D. polymorpha* exposed to different concentrations of  $\beta$ -CF. Different letters on the bar (a, b, c, d, e) show statistical differences in all application groups in the same exposure time and asterisk (\*) shows statistical differences between different exposure time (24 and 96 h) in the same groups ( $p < 0.05$ ).



**Figure 3.** AChE (U/mg protein) activity of *D. polymorpha* exposed to different concentrations of  $\beta$ -CF. Different letters on the bar (a, b, c, d) show statistical differences in all application groups in the same exposure time and asterisk (\*) shows statistical differences between different exposure time (24 and 96 h) in the same groups ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSSION

The main purpose of toxicity tests on aquatic organisms is to determine at what concentration a substance is harmful to the organism. Bioassays today are the physiology, pathology, nutrition, behavior patterns of organisms. It is used as a tool to illuminate many subjects (Çetinkaya, 2005).

LC50 value is very important in terms of evaluating the acute toxic effects of chemical substances due to short-term applications (Saygi, 2003). Studies have been conducted on the acute toxicity of  $\beta$ -CF in various organisms. In this study, 96 hour LC50 value of  $\beta$ -CF was determined by static method to determine the sublethal concentration to which the test organism will be exposed. It has been determined that  $\beta$ -CF values in acute toxicity on *D. polymorpha* are very low and if the wrong and

unconscious use of pesticides continues to increase, it can harm non-target organisms. Behavioral changes that occur in toxicity tests can provide predictions of endpoints for non-fatal toxicity and serve as a tool for environmental risk assessment and analysis of toxicological impact. Thus, measuring the behavior of an organism after exposure to contaminants provides a better prediction of the potential environmental consequences of toxic contamination rather than simply measuring lethal effects (Khalil et al., 2013).

Antioxidant enzyme activities, glutathione redox states and LPO product levels (TBARS and MDA) are the most commonly used biomarkers in toxicological evaluations (Oruç et al., 2004). There are scientific studies that many pollutants cause an increase in MDA level in aquatic organisms. Tatar et



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.803520

al. 2018, reported an increase in MDA in the aquatic organism *Gammarus pulex*, which they exposed to in municipal treatment plant inflow. In another study, Serdar 2019, reported that MDA increased depending on the concentration in *G. pulex*, which exposed to the dimethoate pesticide. Serdar et al 2019, reported that in *D. polymorpha* mussels exposed to the sulfamethazine chemical, MDA increased depending on the concentration. In a different study, Tatar et al. 2019, reported that MDA increased significantly in *G. pulex*, which they exposed to Congo Red, compared to control. Yüksel et al. 2020, reported that MDA increased in concentration groups compared to control in *G. pulex*, which they exposed to malathion pesticide. In this study, it was determined that the level of MDA in organisms exposed to  $\beta$ -CF increased significantly compared to control and with increasing concentration. This increase in MDA level was regarded as a result of oxidative stress as the organism defends against  $\beta$ -CF oxidative damage.

Toxicity mechanisms in aquatic organisms exposed to pollution are stated as ROS production induced by pollutants and the resulting oxidative stress (Livingstone, 2003). Oxidative stress occurs when free radicals and non-radical ROS are generated in amounts that the antioxidant defense capacity cannot cope, and then ROS damages cellular metabolism (Nishida, 2011; Halliwell & Gutteridge, 2015). Pesticides, like other environmental pollutants, are potential factors that can create oxidative stress in aquatic organisms through ROS mechanisms (Valavanidis et al., 2006; Slaninova et al., 2009; Lushchak, 2011). Non-enzymatic antioxidant mechanisms are also responsible for protecting cellular components from oxidative damage, just like enzymatic antioxidants (Uluturhan et al., 2019). Exposure to increased ROS production can also lead to the induction of certain antioxidant enzymes by interacting with antioxidant-responsive gene elements and increased transcription (Livingstone, 2003). Many studies have reported that pollutants inhibit GSH levels in aquatic organisms. Tatar et al. 2018, reported a decrease in GSH in the aquatic organism *G. pulex*, which they were exposed to municipal treatment plant inlet water. In another study, Serdar 2019, reported that GSH decreased depending on the concentration in *G. pulex*, which he exposed to the dimethoate pesticide. Similarly, a reduction in GSH content

produced by anticholinesterase agents has been reported in various aquatic organisms (Della et al. 1994; Hai et al. 1997; Venturino et al. 2001; Ferrari et al. 2007; Yüksel et al.2020). In this study, it was found that there was a decrease in the GSH level in mussels exposed to  $\beta$ -CF, similar to the previous studies. GSH depletion has been associated with the oxidation of glutathione peroxidases due to an increase in free radicals or direct oxidation of these compounds.

AChE is an important regulatory enzyme that controls the passage of nerve impulses through cholinergic synapses by hydrolyzing the stimulating transmitter acetylcholine (ACh), and they are known as a biomarker of neurotoxicity as they are suppressed by anticholinesterase chemicals such as organophosphates, polybrominated di-phenyl ethers, and pharmaceuticals (Haase et al., 2002). It has been reported in many scientific studies that  $\beta$ -CF, a pyrethroid insecticide, inhibits AChE at low doses/concentrations, causing behavioral, neurological, oxidative, histopathological, endocrine and other effects. In scientific studies, it has been determined that it inhibits AChE activity in aquatic organisms exposed to substances containing various neurotoxicity (Chandrasekara and Pathiratne 2005; Xuereb et al. 2007; Guimaraes et al. 2007; Demirci et al.2018). Similarly, in this study, it was observed that AChE activity was inhibited with increasing concentration in mussels exposed to  $\beta$ -CF.

In addition, AChE activity is used as a biomarker in aquatic pollution (Dembele et al., 2000).

## CONCLUSION

According to the results of the data obtained from the study; Toxic effect of  $\beta$ -CF pesticide on *D. polymorpha* was determined. It was concluded that AChE, MDA and GSH2 are useful biomarkers in the investigation of the toxic effects of  $\beta$ -CF on the test organism *D. polymorpha*, which is fed by filtering water, has no selective nutrition and has limited mobility. The results obtained depending on the concentration and time at the levels of these biomarkers show that the response of the test organism to the toxic substance varies with the concentration of the toxic substance and the application time.

## ACKNOWLEDGMENT

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.803520

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Munzur University under project number YLMUB019-01.

### 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

- Alişer, A.B., 2020. Zebra Midyesi (*Dreissena polymorpha*)'nin kadmiyuma karşı bazı biyokimyasal yanıtları. *Yüksek Lisans Tezi* Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tunceli.
- Almroth, B.C., Sturve, J., Stephensen, E., Holth, T.F., Forlin, L., 2010. Protein Carbonyls and Antioxidant Defenses in Corkwing Wrasse (*Symphodus melops*) from a Heavy Metal Polluted and a PAH Polluted Site. *Marine Environmental Research*, 66: 271-277.
- Bebe, F.N., Panemangalore, M., 2005. Pesticides and Essentials Minerals Modify Endogenous Antioxidants and Cytochrome P450 in Tissues of Rats. *Journal of Environmental Science and Health B38*: 349-363.
- Benli, A.Ç.K., 2005. Investigation of Acute Toxicity of Cyfluthrin on Tilapia Fry *Oreochromis niloticus* L. 1758). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 20: 279-282.
- Bobat, A., Hengirmen, O.M., Zaplethal, W. 2001. Tatlısu Ekosisteminde Teknik, Ekonomik ve Ekolojik bir Zararlı: Zebra Midye. *Kırsal Çevre Yılığ*, 112-127.
- Chandrasekara, H.U., Pathiratne, A., 2005. Influence of low concentrations of trichlorfon on hematological parameters and brain acetylcholinesterase activity in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture Research* 36:144-149
- Çetinkaya, O., 2005. Akuatik toksikoloji: Balıkbiyodenyeleri. Balık Biyolojisi Araştırma Yöntemleri. Editor: M. Karataş. Nobel Kitap Dağıtım A.Ş. *Nobel Yayın* No:4, 2. Baskı, Bölüm: 7, 169-218.
- Della, R.M., Villani, G.R., Di, E.M., Squillaciotti, C., De, L.M., Vuotto, P. Staiano, N., 1994. Glutathione depletion induced in rat liver fractions by seven pesticides. *Bollettino della Societa italiana di biologia sperimentale*, 70(8-9), 185-192.
- Dembélé, K., Haubruge, E. and Gaspar, C., 2000. Concentration effects of selected insecticides on brain acetylcholinesterase in the common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 49-54.
- Demirci, Ö., Güven, K., Asma, D., Ögüt, S., Uğurlu, P., 2018. Effects of endosulfan, thiamethoxam, and indoxacarb in combination with atrazine on multi-biomarkers in *Gammarus kischineffensis*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 147, 749-758.
- Dinçel, A.S., Benli, A.Ç.K., Selvi, M., Sarıkaya, R., Şahin, D., Özkul, A., Erkoç, F., 2009. Sublethal Cyfluthrin Toxicity to Carp (*Cyprinus carpio* L.) Fingerlings: Biochemical, Hematological, Histopathological Alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 1433-1439.
- El-Gendy, K.S., Aly, N.M., Mahmoud, F.H., Kenawy, A., El-Sebae, A.K.H., 2010. The Role of Vitamin C as Antioxidant in Protection of Oxidative Stress Induced by Imidacloprid. *Food and Chemical Toxicology*, 48: 215-221.
- Elman, G.L., Courtney, K.D., Andres, V., Featherstone, R.M., 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, 7:88-95.
- Ferrari, A., Venturino, A., de D'Angelo, A.M.P., 2007. Effects of carbaryl and azinphos methyl on juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) detoxifying enzymes. *Pestic Biochem Physiol* 88(2):134-142
- Guimaraes, A.T.B., Silva De Assis, H.C., Boeger, W., 2007. The effect of trichlorfon on acetylcholinesterase activity and histopathology of cultivated fish *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology Environmental Safety* 68:57-62
- Güvenç, D., Aksoy, A., 2010. Samsun Yöresinden Toplanan Çiğ Süt Örneklerinde Bazı Pestisid Kalıntılarının Araştırılması, *Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(2): 281-286.
- Haase, S., Wilck, N., Kleinewietfeld, M., Müller, D.N., Linker, R.A., 2019. Sodium chloride triggers Th17 mediated autoimmunity. *Journal of neuroimmunology*, 329, 9-13.
- Hai, D.Q., Varga, S., Matkovic, B., 1997 Effects of diethyl-dithiocarbamate on antioxidant system in carp tissue. *Acta Biologica Hungarica*, 48(1), 1-8.
- Halliwell, B., Aruoma, O.I., 1991. DNA Damage by Oxygen-Derived Species Its Mechanism and Measurement in Mammalian Systems. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, 281: 9-19.
- Halliwell, B., Chirico, S., 1993. Lipid Peroxidation: Its Mechanism, Measurement, and Significance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 57: 15-25.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M., 2015. "Free radicals in biology and medicine", Oxford University Press, USA.
- Khalil, F., Kang, I.J., Undap, S., Tasmin, R., Qiu, X., Shimasaki, Y., Oshima, Y., 2013. Alterations in

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.803520

- social behavior of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) in response to sublethal chlorpyrifos exposure. *Chemosphere*, 92: 125–130.
- Livingstone, D.R., 2001. Contaminant-Stimulated Reactive Oxygen Species Production and Oxidative Damage in Aquatic Organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 656-666.
- Livingstone, D.R. 2003. Oxidative stress in aquatic organisms in relation to pollution and aquaculture, *Revue de Medecine Veterinaire*, 154(6), 427-430.
- Lushchak, V.I., 2011. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals, *Aquatic toxicology*, 101(1), 13-30.
- Mohammad, A., Akram, R., Shahin, S., Sherkoufeh, N., Ali, R., 2004. Pesticides and Oxidative Stress: A Review. *Medical Science Monitor*, 10: 141-147.
- Munnia, A., Amasio, M.E., Peluso, M., 2004. Ecocyclic Malondialdehyde and Aromatic DNA Adducts in Larynx Tissues. *Free Radical Biology and Medicine*, 37: 850-858.
- Müller, S., Wilck, N., Kleinewietfeld, M., Haase, D. N., Linker, R.A., 2019. Sodium chloride triggers Th17 mediated autoimmunity. *Journal of neuroimmunology*, 329, 9-13.
- OECD, 2004. Daphnia sp., Acute Immobilisation Test, OECD Guidelines for Testing of Chemicals, No. 202, OECD, Paris.
- Oropesa, A.L., Garcia-Camero, J.P., Soler, F., 2009. Glutathione and Malondialdehyde Levels in Common Carp after Exposure to Simazine. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 27: 30-38.
- Oruç, E.O., Sevgiler, Y. Üner, N., 2004. Tissue-specific oxidative stress responses in fish exposed to 2,4-D and azinphosmethyl, *Comparativ Biochemistry Physiology*, 137(C): 43–51.
- Oruç, E.Ö., 2010. Oxidative stress, steroid hormone concentrations and acetylcholinesterase activity in *Oreochromis niloticus* exposed to chlorpyrifos. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 96(3): 160-166.
- Saygı, Ş., 2003. Deneysel toksikolojide toksisite testleri ve test sonuçlarının önemi. *Gülhane Tıp Dergisi (GTD) Gülhane Medical Journal (GMJ)*, 291.
- Serdar, O., 2019. The effect of dimethoate pesticide on some biochemical biomarkers in *Gammarus pulex*. *Environmental Science and Pollution Research* 26(21):21905–21914
- Serdar, O., Tatar, Ş., Yıldırım, N., Tanyol, M., Yıldırım, N.. 2019. Biochemical Response of Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) Exposed to Sulfamethazine Antibiotic. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences* 12(3):61-64.
- Slaninova, A., Smutna, M., Modra, H., Svobodova, Z., 2009. Reviews Oxidative stress in fish induced by pesticides, *Neuroendocrinology Letters*, 30(1), 2.
- Stenersen, J., 2004. *Chemical Pesticides: Mode of Action and Toxicology*. CRC Press, Florida, p. 276.
- Storey, K.B., 1996. Metabolic Adaptations Supporting Anoxia Tolerance in Reptiles: Recent Advances. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 113: 23-35.
- Tatar, S., Cıkcıkoglu Yildirim, N., Serdar, O., Yildirim, N., Ogedey, A., 2018. The using of *Gammarus pulex* as a biomonitor in ecological risk assessment of secondary effluent from municipal wastewater treatment plant in Tunceli, Turkey. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(3), 819-829.
- Tatar, Ş., Serdar, O., Yıldırım, N.C., 2019. Kongo kırmızısına maruz bırakılan tatlı su Amphipodu *Gammarus pulex*'in Antioksidan ve detoksifikasyon sistemindeki değişiklikler. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(2), 76-81.
- Tiryaki, O., Canhilal, R. Horuz, S., 2010. Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2): 154-169.
- Uluturhan, E., Darılmaz, E., Kontas, A., Bilgin, M., Alyuruk, H., Altay, O., 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.
- Valavanidis, A., Vlahogianni, T., Dassenakis, M., Scoullou, M., 2006. “Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants”, *Ecotoxicology and environmental safety*, 64(2), 178-189.
- Venturino, A., Anguiano, O.L., Gauna, L., Cocca, C., Bergoc, R.M., de D’Angelo, A.M.P., 2001. Thiols and polyamines in the potentiation of malathion toxicity in larval stages of the toad *Bufo arenarum*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130(2):191–198
- Xuereb, B., Noury, P., Felten, V., Garric, J., Geffard, O., 2007. Cholinesterase activity in *G. pulex* (Crustacea Amphipoda): Characterization and effects of chlorpyrifos. *Toxicology* 236:178–189
- Yıldırım, F., Karasu Benli, Ç., Gümüş, B. A., Erkmén, B., Gül, G., Batmaz, G., Paçal, E., ve Erkoç, F., 2015. Biyosidal Aktiviteli ZincPyrithione’un İstilacı Tür *Dreissena polymorpha* (Zebra midyesi)’ya Akut Toksikitesi, 2. *Ulusal Biyosidal Kongresi*, 9- 3 Kasım.
- Yüksel, F., Aydın, R., Serdar, O., Pala, A., 2020. Examining the biochemical effect of malathion pesticide on *Gammarus pulex* (L., 1798). *Fresenius Environmental Bulletin* 29(10): 9490-9497

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.803520

Zama, D., Meraihi, Z., Tebibel, S., Benayssa, W., Benayache, F., 2007. Chlorpyrifos-Induced Oxidative Stress and Tissue Damage in the Liver Protective Role of the Butanolic Extract of *Paronychia argentea* L. *Indian Journal of Pharmacology*, 39: 145-150.

## Antioxidant and antiproliferative properties of some 2- (4h- [1,2,4] Triazol-3-Yl-sulfanyl) -acetamide derivatives

Selahattin Demir<sup>1</sup>, Sibel Pekdemir<sup>2\*</sup>, Serhat Keser<sup>1</sup>, Arzu Karatepe<sup>2</sup>, Metin Koparır<sup>1</sup>, Mustafa Karatepe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Firat University, Elazığ, Turkey

<sup>2</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Bingöl University, Bingöl, Turkey

selahattindemir\_23@hotmail.com<sup>id</sup>, \*sibelselcuk85@gmail.com<sup>id</sup>, serhatkeser@gmail.com<sup>id</sup>,  
akaratepe23a@gmail.com<sup>id</sup>, mkoparir@firat.edu.tr<sup>id</sup>, mkaratepe@firat.edu.tr<sup>id</sup>

Received date:21.07.2021, Accepted date: 10.09.2021

### Abstract

In this study, the cytotoxic effects of some 2- (4H- [1,2,4] triazol-3-yl-sulfanyl)-acetamide derivatives compounds on the L1210 rodent leukemia cancer cell line were investigated. At the same time, the effect on MDA concentration showing the degree of lipid peroxidation in *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells treated with these compounds and vitamin A, E and C values were investigated. In addition, the antioxidant properties were investigated by the DPPH radical scavenging method. It was determined that the compounds did not make a statistically significant difference in the A, E, C vitamin levels and MDA concentrations in *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells. It was observed that the study groups did not show antioxidant activity in DPPH radical scavenging activity results. Based on the antitumor activity results, the compounds were generally found to have an effective cytotoxic activity on the L1210 cell line.

**Keywords:** Anticancer, antioxidant, DPPH, MDA, vitamin

## Bazı 2-(4h-[1,2,4] Triazol-3-İl-sulfanil)-asetamid türevlerinin antioksidan ve antiproliferatif özellikleri

### Öz

Bu çalışmada, bazı 2- (4H- [1,2,4] triazol-3-il-sulfanil)-asetamid türevleri bileşiklerinin L1210 kemirgen lösemi kanser hücre hattı üzerindeki sitotoksik etkileri araştırıldı. Aynı zamanda bu bileşiklerle muamele edilen *Saccharomyces cerevisiae* maya hücrelerinde lipid peroksidasyon derecesini gösteren MDA konsantrasyonu ve vitamin A, E ve C değerlerine etkisi araştırıldı. Ayrıca DPPH radikal süpürme yöntemi ile antioksidan özellikleri araştırıldı. Bileşiklerin *Saccharomyces cerevisiae* maya hücrelerinde A, E, C vitamin seviyeleri ve MDA konsantrasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmadığı belirlendi. Çalışma gruplarının DPPH radikal süpürücü aktivite sonuçlarında antioksidan aktivite göstermediği görüldü. Antitümör aktivite sonuçlarına dayanarak, bileşiklerin genel olarak L1210 hücre hattı üzerinde etkili bir sitotoksik aktiviteye sahip olduğu bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** Antikanser, antioksidan, DPPH, MDA, vitamin

### INTRODUCTION

Organic compounds containing 5-membered aromatic heterocyclic rings are compounds that can be found in many natural structures and have an important role in many biochemical events (Pekdemir and Coşkun, 2020). Thanks to these features, it has become a new field of study for researchers (Dalvie et al., 2002). Triazoles are becoming more preferred in biological studies because they have a slower and more gradual mechanism (Georgopapadaku, 1998).

This situation has made the studies on the biological activities of triazole compounds detailed (Cansız et al., 2001; Parlak et al., 2016). These compounds, which contain three nitrogen atoms and are included in five-membered ring compounds, are known as triazole or triazocyclopent diene. The variation in the positions of the heteroatoms in the ring structures of the triazole creates three different isomers in the ring structure: 1,3,4-(symmetrical; sym-triazole), 1,2,4-(asymmetrical; asym-triazole), and 1,2,3-(vicinal triazole) (Timur et al., 2019).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972632

Studies have shown that some arylthiosemicarbazide derivatives and triazoles synthesized from them and their heterocyclic derivatives have antifungal (Holla et al., 1996), antibacterial (Pandeya S. N. et al., 2000), anticancer (Invidiata et al., 1991), antiviral (Todoulou et al., 1994) ve antimicrobial (Kidwai et al., 2001) properties. It has also been observed that thiosemicarbazides and triazole compounds synthesized from them have significant in vitro antibacterial activity and highly inhibit the growth of the tested organisms (Goswami et al., 1984). In another study, 1,3,4-thiadiazole and 1,2,4-triazole derivatives containing indole were applied on mice in specific tests and it was determined that these substances supported the development of blood-brain cells and reduced depression (Pandeya S. et al., 1999). In a recent study, Ragıp' s team investigated the catalytic activities of Pyridine substituted tyrazole compounds (Adiguzel et al., 2020). Still, different new triazole derivatives are being investigated and added to the literature.

In this study, various compounds containing different triazole derivatives were applied to *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells to determine their in vitro antioxidant effects, and at the same time, their antitumor activities in L1210 cell line cultures to which these compounds were applied.

## EXPERIMENTAL

### Acetamide-derived triazole compounds

All acetamide derivatives of triazole compounds, whose properties were investigated in this study, were synthesized in Firat University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Department of Organic Chemistry (Dinçer et al., 2006; Koparir et al., 2013).

### Cytotoxic effects of acetamide-derived triazole compounds on L1210 cell line

The L1210 murine leukemia cell line was purchased from the American Type Culture Collection (ATCC). Cytotoxicity studies were carried out in the Cell Culture laboratory of Firat University, Faculty of Medicine, Department of Physiology. L1210 cell lines were cultured in 25 cm<sup>2</sup> flasks in an incubator containing 5% CO<sub>2</sub> and 37 °C condition. RPMI-1640 medium containing 10% fetal bovine serum (FCS), 100 µ/mL Penicillin, and 100 µg/mL

streptomycin was used. The trypan blue test was performed for cytotoxicity analysis of the test compounds and 6 replicates of 1 x 10<sup>5</sup> cells / mL L1210 cells per Eppendorf tube were seeded for this test. DMSO was used as the solvent of the test compounds. Live L1210 cells were seeded into flasks and incubated for 24 hours. After pre-incubation, the cell culture medium was replaced with fresh medium and test compounds prepared at concentrations of 7.5-15-30-60 µM were added to the medium. The viability of cells incubated at 37 °C, 5% CO<sub>2</sub> after 24 and 48 hours was determined using the trypan blue exclusion method (Fenner et al., 1993; George et al., 1996). While vehicle-treated tubes served as control, it was observed that the DMSO concentration in the cell culture medium did not exceed 1%.

### Determination of MDA and Vitamin C

In this study, previously determined methods were used for MDA and vitamin C levels in *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells treated with test compounds and their measurements were made with a high performance liquid chromatography (HPLC) device (Karatepe, 2004).

### Vitamin A, E

First, *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells treated with test substances were rinsed by adding 250 µL of 15% trichloroacetic acid, 0.5 M 750 µL of HClO<sub>4</sub>, and the cells were lysed. By adding 2 mL of ethyl alcohol containing 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> to the lysed cells, the proteins in its content were precipitated and the mixture was shaken with vortex for a while. Samples to which 0.3 mL n-hexane was added were homogenized in vortex and placed in the centrifuge. The hexane phase was carefully separated and taken into a glass tube. After repeating this process twice, the extracted hexane phase was separated in the presence of nitrogen. The residue was dissolved in 100 µL of methanol to make it suitable for analysis by HPLC. (Catignani and Bieri, 1983).

### DPPH antioxidant

DPPH radical scavenging method was used to determine the radical scavenging power of the compounds to be studied. (Liyana-Pathirana and Shahidi, 2005). As a result, 4 mL of the DPPH solution prepared in methanol with a concentration of 25 mg/L was taken and the samples were added to the tubes at a final concentration of 100, 250, 500 and

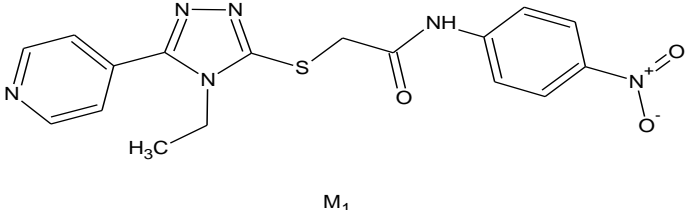
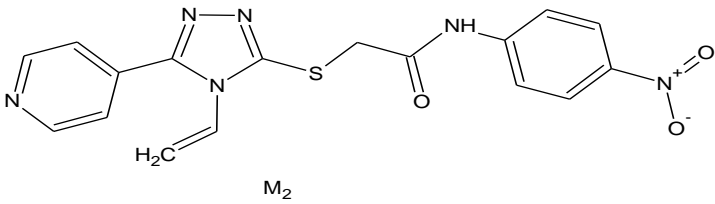
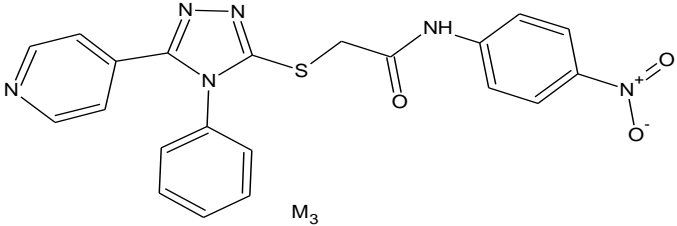
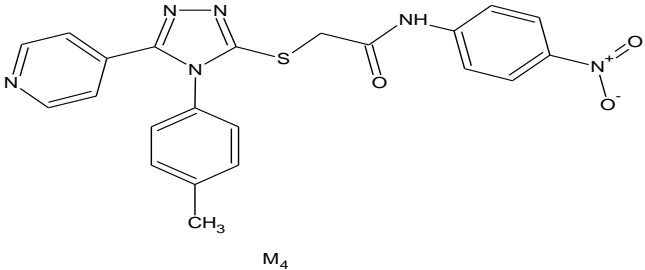
Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972632

1000 M, respectively. The samples were kept in a dark place and at room temperature for about 30 minutes. At the end of the time, absorbance measurements were made with a UV spectrophotometer at a wavelength of 517 nm. Low

absorbance values in the study groups indicate high radical scavenging power. The DPPH radical scavenging percentage was calculated using equation 1 given below.

$$\text{DPPH radical scavenging activity \%} = \frac{\text{Control absorbance} - \text{Sample absorbance}}{\text{Control absorbance}} \times 100 \quad (1)$$

**Table 1.** Chemical structures and IUPAC names of the compounds whose properties were investigated

No	Compounds	Compounds Structure	IUPAC name and formules
1	M1	 M <sub>1</sub>	2-([4-ethyl-5-(pyridin-4-yl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl]sulfanyl)-N-(4-nitrophenyl)asetamit
2	M2	 M <sub>2</sub>	N-(4-nitrofenil)-2-([4-(prop-2-en-1-il)-5-(piridin-4-il)-4H-1,2,4-triazol-3-il] sulfanil)-asetamit
3	M3	 M <sub>3</sub>	N-(4-nitrofenil)-2-([4-fenil-5-(piridin-4-il)-4H-1,2,4-triazol-3-il]sulfanil)asetamit
4	M4	 M <sub>4</sub>	2-([4-(4-metilfenil)-5-(piridin-4-il)-4H-1,2,4-triazol-3-il]sulfanil)-N-(4-nitrofenil) asetamit

Groups (N=6)	24 h 7.5 $\mu$ M	24 h 15 $\mu$ M	24 h 30 $\mu$ M	24 h 60 $\mu$ M	48 h 7.5 $\mu$ M	48 h 15 $\mu$ M	48 h 30 $\mu$ M	48h 60 $\mu$ M
Control	72.75 $\pm$ 0.95	67.75 $\pm$ 0.63	69.00 $\pm$ 0.41	62.75 $\pm$ 0.85	65.75 $\pm$ 0.48	61.50 $\pm$ 0.65	60.00 $\pm$ 1.63	54.75 $\pm$ 1.65
M1	56.50 $\pm$ 0.87 <sup>c</sup>	47.25 $\pm$ 0.63 <sup>c</sup>	36.50 $\pm$ 0.65 <sup>c</sup>	27.50 $\pm$ 1.19 <sup>c</sup>	45.00 $\pm$ 1.08 <sup>c</sup>	33.75 $\pm$ 1.25 <sup>c</sup>	21.50 $\pm$ 1.19 <sup>c</sup>	11.75 $\pm$ 1.03 <sup>c</sup>
M2	52.50 $\pm$ 1.05 <sup>c</sup>	41.50 $\pm$ 1.04 <sup>c</sup>	35.25 $\pm$ 2.39 <sup>c</sup>	27.50 $\pm$ 1.55 <sup>c</sup>	42.75 $\pm$ 0.85 <sup>c</sup>	27.75 $\pm$ 1.44 <sup>c</sup>	18.25 $\pm$ 1.80 <sup>c</sup>	12.75 $\pm$ 1.31 <sup>c</sup>
M3	54.50 $\pm$ 1.32 <sup>c</sup>	44.75 $\pm$ 1.49 <sup>c</sup>	29.25 $\pm$ 1.93 <sup>c</sup>	19.25 $\pm$ 0.75 <sup>c</sup>	42.25 $\pm$ 0.85 <sup>c</sup>	27.00 $\pm$ 1.08 <sup>c</sup>	19.00 $\pm$ 0.91 <sup>c</sup>	9.00 $\pm$ 0.41 <sup>c</sup>
M4	58.25 $\pm$ 0.48 <sup>c</sup>	48.25 $\pm$ 1.31 <sup>c</sup>	29.00 $\pm$ 0.91 <sup>c</sup>	17.25 $\pm$ 0.85 <sup>c</sup>	46.00 $\pm$ 0.82 <sup>c</sup>	32.75 $\pm$ 1.49 <sup>c</sup>	17.75 $\pm$ 1.38 <sup>c</sup>	9.50 $\pm$ 0.65 <sup>c</sup>

**Table 2.** % inhibition  $\pm$  standard deviation values of organic compounds in L-1210 cancer cell line

<sup>a</sup>  $p < 0.05$ ; <sup>b</sup>  $p < 0.01$ ; <sup>c</sup>  $p < 0.001$ 

### Statistical Evaluation

All statistical analyzes in the study were performed using the SPSS/PC package program. Analysis of variation was applied to the results to

### RESULT

#### In vitro antitumor activities on L1210 cell lines

Determination of cell viability activity of test compounds was carried out by trypan blue test. Cultures grown on each L1210 cell line in the study were exposed to different doses of test compounds for 24 and 48 hours. At the end of the study, it was determined that there was a decrease in the proliferation of the examined cell lines depending on the dose. The effects of compounds numbered M1, M2, M3 and M4 on the L1210 cell line depending on the dose and time are shown in Figure 1. Cells treated with compounds were found to differ statistically from control groups. (Table 2).

#### In vivo antioxidant activities

##### Levels of vitamins A, E, C and MDA

The effects of triazole derivative compounds treated on *Saccharomyces cerevisia* yeast cells on

reveal statistical differences between activities. The data obtained at the end of the experimental studies were evaluated by Oneway Anova analysis for antitumor properties, Tukey test and LSD test for MDA, vitamin A and E analysis.

vitamin A, E, C and MDA levels were examined (Table 3). It was observed that the two-dose groups caused a slight decrease in vitamin levels, but did not show any significant variability. It was also determined that the groups that received two doses increased their MDA levels (Table 4).

#### DPPH radical scavenging activity

The DPPH radical scavenging model is more preferred because it takes a shorter time to evaluate antioxidant activities compared to other methods. The activity evaluation in this method is determined by the fact that the antioxidant molecules cause a decrease in the absorbance of the DPPH radical, either directly or due to the reactions between radical propagation. It was determined that the DPPH radical scavenging activities of all triazole derivatives used in the study were considerably lower than the standard antioxidant tocopherol (Table 5).

**Table 3.** The mean values of the levels of vitamin E (mg / 1.10<sup>6</sup> cells) of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells treated with the compound

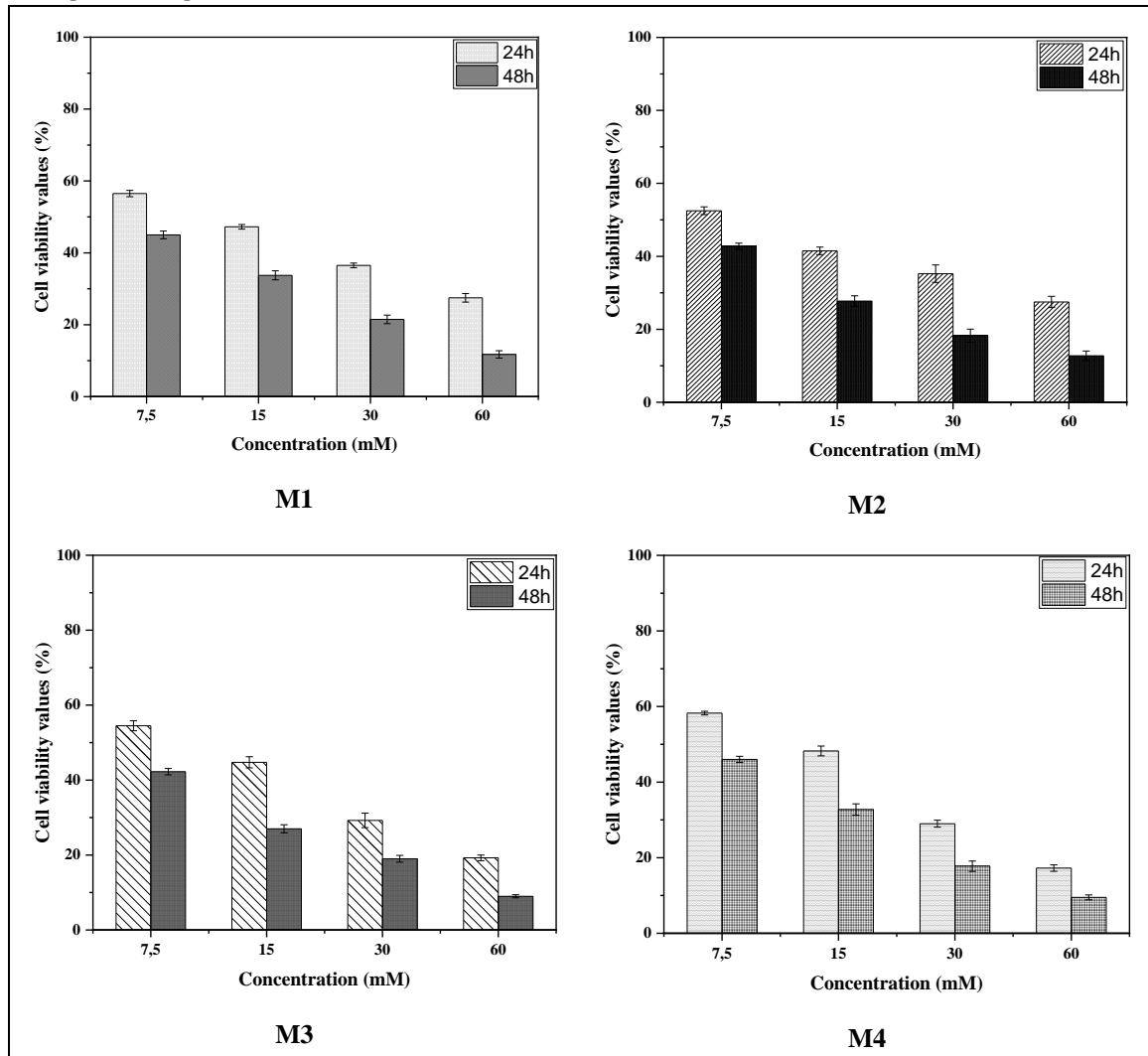
Groups N=4	Vitamin E		Vitamin A		Vitamin C	
	26 $\mu$ M	52 $\mu$ M	26 $\mu$ M	52 $\mu$ M	26 $\mu$ M	52 $\mu$ M
Control	0.65 $\pm$ 0.01	0.65 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.02	0.55 $\pm$ 0.02	11.89 $\pm$ 0.41	11.89 $\pm$ 0.41
M1	0.55 $\pm$ 0.09	0.65 $\pm$ 0.89	0.44 $\pm$ 0.08	0.46 $\pm$ 0.04	13.58 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>	12.98 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.972632

<b>M2</b>	0.44 ± 0.19	0.41 ± 0.002	0.44 ± 0.001	0.36 ± 0.006 <sup>b</sup>	12.60 ± 0.33	12.96 ± 0.34 <sup>a</sup>
<b>M3</b>	0.50 ± 0.12	0.29 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.04	0.44 ± 0.05	11.84 ± 0.22	11.99 ± 0.11
<b>M4</b>	0.42 ± 0.11	0.33 ± 0.045 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.01	12.04 ± 0.25	11.76 ± 0.35

<sup>a</sup>  $p < 0.05$ ; <sup>b</sup>  $p < 0,01$ ; <sup>c</sup>  $p < 0.001$



**Figure 1.** Graphs of cell viability values of compounds no. M1, M2, M3 and M4 in L-1210 cell lines depending on the dose for 24 and 48 hours

MDA	26 μM	52 μM
<b>Control</b>	0.29 ± 0.029	0.29 ± 0.029
<b>M1</b>	0.30 ± 0.01	0.34 ± 0.02 <sup>a</sup>
<b>M2</b>	0.44 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.43 ± 0.04 <sup>c</sup>
<b>M3</b>	0.34 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>c</sup>
<b>M4</b>	0.44 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.43 ± 0.03 <sup>c</sup>

**Table 4.** Mean values of MDA (mg / 1.10<sup>6</sup> cells) levels of the *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells treated with the compound according to the doses

<sup>a</sup>  $p < 0.05$ ; <sup>b</sup>  $p < 0,01$ ; <sup>c</sup>  $p < 0.001$

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972632

**Table 5.** Measurement results by DPPH radical reduction method

Gruplar (1000 µg/mL)	DPPH' Yok Etme Aktivitesi (%)
<b>Kontrol</b>	0
<b>M1</b>	17.68
<b>M2</b>	17.29
<b>M3</b>	18.25
<b>M4</b>	21.04
<b>Tokoferol</b>	87.44

## DISCUSSION

The cytotoxic action mechanisms of xenobiotics, which are not produced in an organism and are defined as foreign substances to the biochemical metabolism of the organism; it is thought to be caused by damage to the cellular regulation system, the formation mechanism of intracellular synthesis products, or cellular transduction signaling. For this reason, it is known that there are many methods and experiments determined for cytotoxicity studies (Turan et al., 2011). In the investigation of the cytotoxic effects of the test components in our study, a method was used to determine the amount of cell viability.

Acetamide derivatives of triazole compounds investigated in the study were observed to inhibit proliferation on L1210 murine leukemia carcinoma cell lines when compared with control groups ( $P < 0.05$ ). Although it was seen in Figure 1 that acetamide derivatives of M2 and M3 coded triazole compounds had antiproliferative effects on L1210 cell lines in proportion to the dose and time increase, it was determined that the most effective concentrations were 60 µM for 48 hours ( $P < 0.05$ ).

In antioxidant studies, MDA levels of 2-(4H-[1,2,4]triazol-3-yl-sulfanyl) acetamide derivatives applied to *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells were examined and statistical differences were determined in comparison with the control group. This difference is due to the increased MDA levels for all compounds compared to the control, and it

is possible to say that the investigated test substances increase lipid peroxidation and cause cell damage.

A non-significant decrease in vitamin A and E levels of *Saccharomyces cerevisiae* cells treated with test substances was observed in control and dose-dependently. While there was an increase in vitamin C levels in the samples except the M3 compound compared to the control, a decrease was observed in the vitamin C levels of M1 and M4 compounds depending on the dose increase. One of the results obtained from antioxidant studies is that not all compounds whose properties were investigated by DPPH free radical scavenging method did not show radical scavenging properties. As a result, it can be said that antioxidant studies show parallelism and some 2-(4H-[1,2,4]triazol-3-yl-sulfanyl)-acetamide derivatives that have been synthesized do not have antioxidant activity.

Our findings show that especially high MDA levels and low vitamin levels in the compounds tested on yeast cells may create a mechanism that can cause oxidative damage by causing lipid peroxidation. In summary, it is possible to say that the compounds investigated in our study cause oxidative stress. Differences in the organic conformation of test compounds are also known to cause differences in biological functions (Guler et al., 2021).

## CONCLUSION

In this study, it was determined that some 2-(4H-[1,2,4]triazol-3-yl-sulfanyl)-acetamide derivatives had different effects on the duration and dose-dependent antitumor activities and some antioxidant parameter levels on the L1210 leukemia cancer cell line. The compounds were found to have a cytotoxic effect on the L1210 cancer cell line. At the same time, it was determined that the organic compounds caused a partial increase in the amount of MDA in the yeast cells of *Saccharomyces cerevisiae*, and a partial decrease in the levels of antioxidant vitamins A and E. In addition to the results obtained, it was determined that the organic compounds used in the DPPH radical scavenging experiments did not show antioxidant activity. It can be said that the organic compounds used in the study show antitumor activity by creating oxidative damage in

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.972632

cells. The positive findings of the antiproliferative effects in this study pave the way for studies on the existence of different mechanisms of action of the test compounds.

### 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

- Adiguzel, R., Aktan, E., Evren, E., Çetin, A., 2020. A Computational Study on Some Pyridine-Substituted-Bis-1, 2, 4-Triazole Derivatives and Investigation of Their Catalytic Activities. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6 (2): 200-207.
- Cansız, A., Servi, S., Koparır, M., Altıntaş, M., Dıġrak, M., 2001. Synthesis and antimicrobial activity of some of new 1, 1, 3-trisubstituted cyclobutane containing thiazoles, succinimide and phthalimide derivatives. *J. Chem. Soc. Pak*, 23 237-239.
- Catignani, G., Bieri, J., 1983. Simultaneous determination of retinol and alpha-tocopherol in serum or plasma by liquid chromatography. *Clinical chemistry*, 29 (4): 708-712.
- Dalvie, D.K., Kalgutkar, A.S., Khojasteh-Bakht, S.C., Obach, R.S., O'Donnell, J.P., 2002. Biotransformation reactions of five-membered aromatic heterocyclic rings. *Chemical research in toxicology*, 15 (3): 269-299.
- Dinçer, M., Özdemir, N., Cetin, A., Keser, T., Büyükgüngör, O., 2006. N-Cyclohexyl-2-[5-(4-pyridyl)-4-(p-tolyl)-4H-1, 2, 4-triazol-3-ylsulfanyl] acetamide dihydrate. *Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications*, 62 (11): o639-o642.
- Fenner, F., Gibbs, P., Murphy, F., Rott, R., Studdert, M., White, D., 1993. Virus interacting layered phyllosilicates and methods of inactivating virus on animate and inanimate surfaces. *Veterinary Virology; Academic Press, New York*403-430.
- George, V., Hierholzer, J., Ades, E. (1996). Cell culture *Virology methods manual* (pp. 3-23): Elsevier.
- Georgopapadakou, N.H., 1998. Antifungals: mechanism of action and resistance, established and novel drugs. *Current opinion in microbiology*, 1 (5): 547-557.
- Goswami, B.N., Katakya, J.C.S., Baruah, J.N., 1984. Synthesis and antibacterial activity of 1-(2, 4-dichlorobenzoyl)-4-substituted thiosemicarbazides, 1, 2, 4-triazoles and their methyl derivatives. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 21 (4): 1225-1229.
- Guler, A., Karatepe, A., Koparir, P., Pekdemir, S., Karatepe, M., 2021. Investigation of the Antioxidant and Antitumour Properties of Some Cyclobutane Ring Containing 2, 5-Thiophene Diacyl Compounds.
- Holla, B., Poojary, K., Kalluraya, B., Gowda, P., 1996. Synthesis, characterisation and antifungal activity of some N-bridged heterocycles derived from 3-(3-bromo-4-methoxyphenyl)-4-amino-5-mercapto-1, 2, 4-triazole. *Farmaco (Societa chimica italiana: 1989)*, 51 (12): 793-799.
- Invidiata, F., Grimaudo, S., Giammanco, P., Giammanco, L., 1991. Synthesis and pharmacological properties of 6-substituted 3-(pyridine-4-yl)-1, 2, 4-triazole [3, 4-b][1, 3, 4] thiadiazoles. *Farmaco (Societa chimica italiana: 1989)*, 46 (12): 1489-1495.
- Karatepe, M., 2004. Simultaneous determination of ascorbic acid and free malondialdehyde in human serum by HPLC-UV. *Lc Gc North America*104-106.
- Kidwai, M., Sapra, P., Misra, P., Saxena, R., Singh, M., 2001. Microwave assisted solid support synthesis of novel 1, 2, 4-triazolo [3, 4-b]-1, 3, 4-thiadiazepines as potent antimicrobial agents. *Bioorganic & medicinal chemistry*, 9 (2): 217-220.
- Koparir, M., Orek, C., Alayunt, N., Parlak, A.E., Koparir, P., Sarac, K. ve Cankaya, N., 2013. Synthesis, Structure Investigation, Spectral Characteristics and Biological Activitie of 4-Benzyl-3-(2-Hydroxyphenyl)-1H-1, 2, 4-Triazole-5 (4H)-Thione. *Communications in Computational Chemistry*, 1 244-268.
- Liyana-Pathirana, C., Shahidi, F., 2005. Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology. *Food chemistry*, 93 (1): 47-56.
- Pandeya, S., Sriram, D., Nath, G., DeClercq, E., 1999. Synthesis, antibacterial, antifungal and anti-HIV activities of Schiff and Mannich bases derived from isatin derivatives and N-[4-(4'-chlorophenyl)thiazol-2-yl] thiosemicarbazide. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 9 (1): 25-31.
- Pandeya, S.N., Sriram, D., Nath, G., De Clercq, E., 2000. Synthesis, antibacterial, antifungal and anti-HIV evaluation of Schiff and Mannich bases of isatin and its derivatives with triazole. *Arzneimittelforschung*, 50 (01): 55-59.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.972632

- Parlak, A., Celik, S., Karatepe, M., Turkoglu, S., Alayunt, N., Dastan, S. ve Koparir, M., 2016. Investigation of biological effects of some Mannich Bases containing Bis-1, 2, 4-Triazole. *Cellular and Molecular Biology*, 62 (7): 46-54.
- Pekdemir, M.E., Coşkun, M., 2020. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanopartiküllerinin Siyanurik Klorür Yoluyla Poli (ε-Kaprolakton)'a Bağlanması, Termal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (4): 2730-2739.
- Timur, İ., Kocyigit, Ü.M., Dastan, T., Sandal, S., Ceribası, A.O., Taslimi, P. ve Çiftçi, M., 2019. In vitro cytotoxic and in vivo antitumoral activities of some aminomethyl derivatives of 2, 4-dihydro-3H-1, 2, 4-triazole-3-thiones—Evaluation of their acetylcholinesterase and carbonic anhydrase enzymes inhibition profiles. *Journal of biochemical and molecular toxicology*, 33 (1): e22239.
- Todoulou, O., Papadaki-Valiraki, A., Filippatos, E., Ikeda, S., De Clercq, E., 1994. Synthesis and anti-myxovirus activity of some novel N, N'-disubstituted thioureas. *European journal of medicinal chemistry*, 29 (2): 127-131.
- Turan, N., Topçu, M.F., Ergin, Z., Sandal, S., Tuzcu, M., Akpolat, N. ve Karatepe, M., 2011. Pro-oxidant and antiproliferative effects of the 1, 3, 4-thiadiazole-based Schiff base and its metal complexes. *Drug and Chemical Toxicology*, 34 (4): 369-378.

## Enerji Depolamalı Bir Boruda Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Eda Bakır<sup>1\*</sup>, Erdem Işık<sup>2</sup>, Aynur Uçar<sup>3</sup>, Fatih Bayrak<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup> Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

<sup>4</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt, Türkiye

\*edabakir@munzur.edu.tr , erdem@munzur.edu.tr , auçar@firat.edu.tr , fatih.byrk@gmail.com 

Makale gönderme tarihi: 26.08.2021, Makale kabul tarihi: 04.10.2021

### Öz

Teknolojideki gelişmeler göz önüne alındığında, yüksek verimli elektronik cihazlardan beklenen verimlilik ve güvenilirliğe ulaşmak için iyi bir termal performansa sahip yeni yaklaşımlar ve soğutuculara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada aynı hidrolik çapa, kanal uzunluğuna ve kesit geometrisine sahip alüminyum boru kullanılmıştır. Sistemin ısı transfer hızını arttırmak için; boru içerisinde su, %1 ve %2 derişimlerine sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanları, boru dış yüzeyinde ise 5mm kalınlığında RT25HC faz değiştiren maddesi (FDM) kullanılmıştır. Alüminyum boru içerisinde geçiren akışkanlar dört farklı hız ve dört farklı Reynolds sayısında ANSYS 20.2 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre her bir akışkan için kütleli erime oranı ve Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde en iyi Nusselt ve sıvı oranına Reynolds 1500 ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su'da ulaşılmıştır. Tüm soğutucu akışkanlar için akışkan hızının artmasıyla soğutucu akışkanların kütleli erime oranının ve Nusselt sayısının arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkan, faz değiştiren madde (FDM), sayısal analiz, ısı transferi

## Numerical Investigation of the Effect of Using Nanofluids on Thermal Performance in an Energy Storage Pipe

### Abstract

Considering the advances in technology, new approaches and heatsinks with good thermal performance are needed to achieve the efficiency and reliability expected from high-efficiency electronic devices. In this numerical study, an aluminum pipe with the same hydraulic diameter, channel length and cross-section geometry were used. To increase the heat transfer rate of the system; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluids with water, 1% and 2% concentrations were used in the pipe, and a 5mm thick RT25HC phase change material (PCM) was used on the outer surface of the pipe. The fluids passed through the aluminum pipe were analyzed using the ANSYS 20.2 package program at four different speeds and four different Reynolds numbers.

According to the results obtained, the mass melting ratio and Nusselt number were calculated for each fluid. When the results obtained from the study were examined, it was seen that the best Nusselt and liquid fraction was Reynolds 1500 and 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water. For all refrigerants, it was concluded that the mass melting rate of the refrigerants and the Nusselt number increased with the increase of the fluid velocity.

**Keywords:** Nanofluid, phase change materials (PCM), numerical analysis, heat transfer

### GİRİŞ

Gün geçtikçe artan insan nüfusu ile beraber teknolojik gelişmelerinde artması ve değişimi, günlük yaşantımızın önemli bir yerini kapsayan enerji ve enerjiye duyulan ihtiyacında paralel olarak artış

göstermektedir. Bu sebeple, azalmaya başlayan enerji kaynaklarının tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Bakır vd., Işık vd., İşkan vd. 2021). Gelişmiş ülkelerin az enerji ile hem doğayı

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

koruma hem de yüksek verimlilik elde etme çalışmalarına verdiği değer de gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde de bu yönde yapılan çalışmalar önem kazanmakta ve her geçen gün yeni projelere adım atılmaktadır.

Sistem verimliliği göz önünde bulundurulduğunda; elektronik soğutma, ısı eşanjörleri ve çeşitli enerji sistemlerindeki termal yönetim büyük önem taşımaktadır. Elektronik cihazların ve enerji sistemlerinin sınırlı bir hacimde ürettikleri atık ısı, sistemin optimum sıcaklık seviyesini belirli bir süre sonra geçmektedir. Bu sıcaklık değeri sistem performansını negatif yönde etkilemektedir. Negatif etkinin pozitif dönüşmesi için yüksek sıcaklıkların sistem sınırları içerisinde verimli ve hızlı bir şekilde uzaklaştırılması ayrıca güvenilir çalışma koşullarına tekrardan getirilmesi gerekmektedir. Enerji sistemlerinde kullanılan su, nanoakışkan ve FDM'lerin ısı transferine olan etkisi ile ilgili literatüre ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Derouich vd. (2018), farklı eğimlerde salınan kare silindirden, sıcaklık farklılığından kaynaklı ısı transfer karakteristiklerini ve akışta meydana gelen fiziksel ve termodinamik davranışları incelemek için sayısal bir inceleme yapmışlardır. Salınım açısı 0 ile  $\pi/2$  arasında değiştirilmiştir. Silindirin yan uzunluğu ile kanal yüksekliği arasındaki oranın etkileri, Reynolds sayısı (Re), salınım genliği, salınım frekansı ve ısı geçiş karakteristikleri incelenmiştir. Sonuçlarda, çalışılan değerler artırıldığı zaman ısı transfer oranlarının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Hassani vd. (2018), kanatçık konfigürasyonunun nanoakışkan soğutmalı elektronik ısı emicisinin taşıma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyde akışkan olarak %0.5 ve %1 hacimli konsantrasyonlarda  $Al_2O_3$  nanoparçacıkları ile su kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kesilen kanatçıkların kullanılması ile yüzey ve çıkış soğutma suyu sıcaklığındaki artıştan dolayı azalma meydana gelmiş ve daha iyi bir ısı transfer sürecine neden olduğunu göstermiştir. Nnanna vd. (2009) nanoakışkan bazlı ısı eşanjörü kullanarak bir termoelektrik modülün ısı verimini araştırmışlardır. Çalışılan sistemde soğutucu olarak bir termoelektrik modül ve  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanı, çip (chip-mikroişlemci) olarak ısı kaynağı kullanılmıştır. Çalışmada; nanoakışkan, saf su ile karşılaştırılmış, termoelektrik modülün sıcak ve soğuk taraf arasındaki sıcaklık farkının, nanoakışkan

için yaklaşık sıfır, su için bu değer daha büyük olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle ısı transfer akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanın, suya göre daha iyi bir ısı transfer hızı sağladığını belirtmişlerdir.

Saqr vd. (2014) yaptıkları sayısal çalışmada ısı transferi ve entropi üzerinde dönmeli jetlerin akış yoğunluğuna bağlı olarak etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada izotermal olmayan boru akışlarının sayısal simülasyonları yapılmıştır. Dönme sayısının viskoz yayılımı artırması nedeniyle entropi düzeyini artırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar boru akışlarında dönmeli akış ısı transferini artırdığını ve basıncın düştüğünü ortaya koymuştur. Chatterjee vd. (2014)  $Cu-H_2O$  nanosivisinin kare bir muhafaza içinde dönen dairesel bir silindir ile konvektif taşınmasını sayısal olarak incelenmişlerdir. Simülasyonlar, Richardson sayısı  $1 \leq Ri \leq 10$ , boyutsuz dönme hızı  $0 \leq \Omega \leq 5$  ve nanopartikül konsantrasyonu  $0 \leq \phi \leq 0.20$  için Grashof sayısı  $Gr=104$  olarak sabit tutularak yapılmıştır. Isı transferinin büyük ölçüde silindirin dönme hızına, karışık konvektif mukavemete ve nanopartikül konsantrasyonuna bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Piratheepan ve Anderson (2014) yaptıkları çalışmada, duvar üzerinde karbon nanotüplere dayanan bir nanoakışkan formülüne edilmiş ve ısı transfer özellikleri deneysel olarak düz bir tüpteki türbülanslı akışa göre karşılaştırılmıştır. Deneysel; nanoakışkan kullanımının, pompalama gücünde bir artışa ayrıca gözlemlenen konvektif ısı transferi hızında bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bu türbülanslı akışlardaki çok yönlü karbon nanotüp nanoakışkanlarının aslında ısı transfer hızını arttırmak yerine azalttığını ve dolayısıyla zorunlu türbülanslı akışlarda uygun bir ısı transfer ortamı sağlamadığını göstermiştir. Lo vd. (2018) çalışmalarını bir çift dairesel rijit silindir ele alıp, akış hacmi içerisinde belirli bir yönde hareket ettirip, akış hacmi içerisinde meydana gelen ısı transferini ve akış olaylarını sayısal yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Re sayısı,  $1 \leq Re \leq 5000$  aralığında altı farklı değerde tutulmuş ve Prandtl sayısını (Pr) 0.7 olarak alınmıştır. Belirlenen parametrelerde, her bir düzlemde silindir yüzeyine ait duvarlarda, yerel ve ortalama Nusselt sayısı (Nu), silindirler arasında oluşan akış rejimleri ve mesafeye bağlı olarak ısı transferi üzerinde etkisini araştırmışlardır. Silindirler arasındaki mesafenin azalması ile meydana gelen ısı transfer oranının ve akışta meydana gelen türbülansın arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ahmed vd. (2015) çalışmalarında,

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

dönmeli ve dönmeli olmayan akışın türbülanslı akış ile karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Çalışmada SST türbülans modeli kullanılmıştır. Re sayısı 23.000 olarak alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre aynı Re sayısında maksimum hızda dönmeli jetlerin dönmeli olmayan jetlere göre daha fazla yüzeye etki ettiği görülmüştür. Bunun sonucunda radyal hızı daha fazla etkilediği ve ısı transferi yüzey alanının daha fazla olduğu görülmüştür. Won ve Ligrani (2004) yaptığı çalışmada, yüzey üzerindeki Nu sayısı ve akış rejimini araştırmışlardır. Dört farklı en-boy oranına sahip kanallara engeller yerleştirerek deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Engeller; akış hacminin yatay yüzeyine 45° açı ve engellerin kendi içerisinde 90° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Çalışmada, Re sayısı  $480 \leq Re \leq 18300$  aralığında değişken olarak ele alınmıştır. Karşılaştırmalarda akış karakteristiklerinde önemli farklılıklar görülmüş ve özellikle engellerin sınırlarındaki akışkan hareketinden dolayı Nu sayısında artış yaşandığını göstermişlerdir.

Keshavarz Moraveji vd. (2013) çalışmalarında tabanı 20x20 mm olan mini kanallı bir ısı emici modelleyip, analizini yapmışlardır. Bu amaçla, TiO<sub>2</sub> ve SiC içeren her iki tür nanopartikül için beş giriş hızında %0.8, %1.6, %2.4, %3.2 ve %4 olmak üzere beş nanopartikül hacim fraksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca, bir nanopartikül hacim fraksiyonunun konvektif ısı transfer katsayısına etkisi farklı Reynolds sayılarında araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına ek olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için korelasyonlu denklemler elde edilmiş ve doğrulukları kabul edilebilir düzeyde bulmuşlardır. Azari vd. (2013) çalışmalarında, düz dairesel bir boruda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları içeren su bazlı nanoakışkanların ısı transferini ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Sistem şartları olarak laminar akış ve sabit ısı akışı olarak, sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları suya eklenmesinin ısı transferini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Heris vd. (2006), çalışmalarında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CuO nanoparçacıklarını, farklı derişimlerde temel akışkan olan su ile karıştırarak sırasıyla %0.2, %1, %2, %2.5, %3 derişimindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su, CuO/su karışımlarını elde edip dairesel bir borudaki akışını, laminar akış şartlarında ve sabit cidar sıcaklığı sınır şartları altında deneysel olarak incelenmiştir. Nanoparçacık derişiminin artması ve Peclet sayısının artmasının ısı transferini olumlu yönde etkilediği yapılan deneyler

sonucunda gözlemlenmiştir. Mohammadpourfard vd. (2016) yaptıkları çalışmada, sayısal analiz yöntemiyle düzgün olmayan enine manyetik alanlarda nanoakışkan kullanarak dönmeli jetlerin özelliklerini incelemişlerdir. Su ve %1 konsantrelili nanoakışkan (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) kullanılmıştır. Dönmeli jetlerin sayısal analiz sonuçlarına göre akışın türbülans yoğunluğu, manyetik alan, kritik ısı akısının ve ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu gözlemlere dayanarak dönmeli jetlerin manyetik alan etkisini ve ısı transfer oranını artırdığı açıkça görülmüştür. Selimefendigil ve Öztop (2020) çalışmalarında, dönen bir silindirin etkisi altında olan kare boşluklu bir faz değişim malzemesinin karışık konveksiyonu sayısal olarak incelemişlerdir. Dikey duvarlar sabit sıcaklıkta tutulurken, yatay duvarlar adyabatik alınmıştır. Silindirin farklı dikey konumları için ortalama ısı transferinin en yüksek değeri, silindirin açılal dönme hızına bağlı olduğu görülmüştür. Ortalama Nusselt sayısı, büyük bir silindir kullanıldığında, daha küçük olana kıyasla silindirin saat yönünde dönüşü için %10 artışı ve sabit silindir konfigürasyonu için %19,8 olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, enerji sektörü ve elektronik cihazların çalışırken ürettikleri yüksek ısının minimize edilmesi için yapılan sayısal bir analizdir. Ele alınan çalışma ile sektördeki enerji verimliliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın bulguları, nanoakışkanların ve FDM'lerin sektörde etkin bir şekilde kullanılmasına ve yatırımcılara bu malzemeler hakkında yol gösterici olacaktır.

## MATERYAL VE METOT

Akışkanlar mekaniği ile ilgili problemler mühendislikte sayısal ve deneysel metot olmak üzere iki farklı şekilde çözülmektedir. Yaptığımız bu çalışmada akış davranışlarının diferansiyel denklemler yardımıyla sayısal olarak çözümleme yapan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS 20.2 kullanılmıştır.

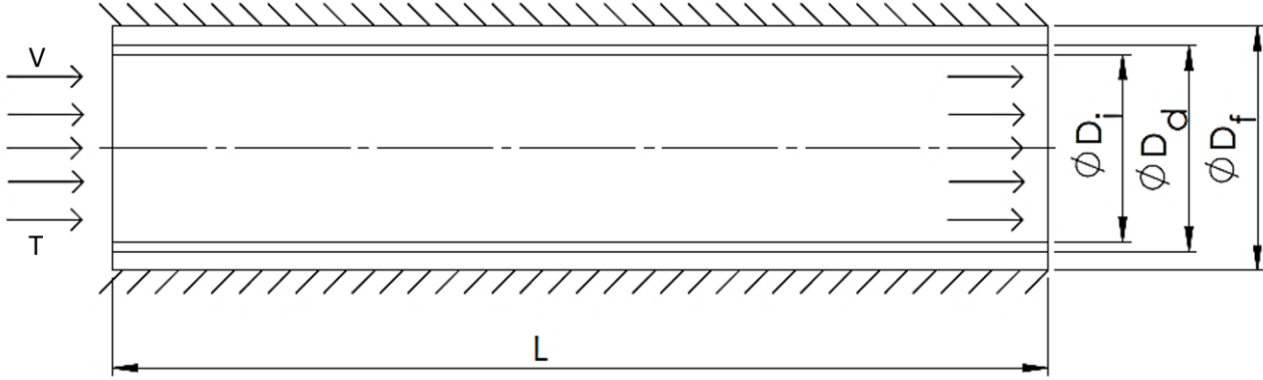
### Sayısal analiz ve eşitlikler

Sayısal çalışmada aynı hidrolik çapa ve kanal uzunluğuna sahip aynı kesit geometrisi kullanılmıştır. Dairesel kesit geometrisine sahip kanalın uzunluğu  $L=250$  mm, çapı  $D_i=50$ mm,  $D_d=55$ mm,  $D_f=65$ mm'dir. Dairesel boruyu saran faz değiştiren maddenin çapı ise 25 mm'dir. Dairesel kesit geometrisine sahip kanalın fiziksel modellemesi Şekil 1'de verilmiştir. Kanalın giriş bölgesinde

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

üniform hız tanımlanırken akışkanın giriş sıcaklığı 50 °C ve ortam sıcaklığı 20°C kabul edilmiştir. Sınır şartı olarak; laminar akış ve zorlanmış taşınım modele uygulanmıştır. Sistem, tek faz homojen model yöntemi kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan nanoparçacık Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün ve suyun termofiziksel özellikleri Tablo 1'de, boru etrafını saran RT25HC faz değiştiren maddesinin termofiziksel özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dairesel kesit geometrisine sahip kanalın geometrik yapısı

Tablo 1. Nanoparçacık ve suyun termofiziksel özellikleri (Gkoutas vd. 2020)

Özellikler	Su	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
$\rho$ Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	997.1	3970
$\mu$ Viskosite (Pa.s)	0.85x10 <sup>-3</sup>	
$C_p$ Özgül ısı (J/(kg.K))	4179	765
$k$ Isı iletkenliği(W/(m.K))	0.613	40

Tablo Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. RT25HC ve alüminyumun termofiziksel özellikleri (Elsheniti vd. 2020)

	Özgül ısı (J/kg.K)	Isı iletkenliği (W/m.K)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Viskosite (Pa.s)	Gizli Isı (J/kg)	Termal genleşme katsayısı (1/K)	Erime Sıcaklığı (°C)
FDM (katı)	1800	0.19	785	1.798x10 <sup>5</sup>	232.000	0.001	25
FDM (sıvı)	2400	0.18	785	0.001798	-	-	-
Alüminyum	903	211	2675	-	-	-	-

Temel akışkanın ve nanoparçacıkların termal dengede ve aynı hızda hareket ettikleri kabul edilmektedir. Bu nedenle, temel akışkanlar için kullanılan enerji, momentum ve kütle korunumu denklemleri, tek faz modeller için kullanılmaktadır. (Xuan vd. 2000). Kurucu denklemler;

Kütlenin Korunumu Denklemi:

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} v) = 0 \quad (1)$$

Momentumun Korunumu Denklemi:

$$\rho_{nf} (v \cdot \nabla v) = -\nabla P + \mu_{eff} \nabla^2 v \quad (2)$$

Enerjinin Korunumu Denklemi:

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} v c_{p,nf} T) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) \quad (3)$$

Sayısal çalışmada oluşturulan geometri de mesh bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Elde edilen verilere göre 902383 mesh sayısından sonra anlamlı bir değişim olmadığı için, bir sonraki değer olan 912087 mesh sayısı ile çalışmalara devam edilmiştir.

Verilerin alınması anında Reynolds sayısı, Nusselt sayısı, Peclet sayısı gibi boyutsuz sayılar kullanılmıştır. Nusselt sayısını hesaplamak için Shah London denkleminde yararlanılmıştır.

Shah London Denklemi (Hussein vd. 2014) ;



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

$$Nu_{ort} = 1.953 \left( Re_{D_h} Pr \frac{D_h}{L} \right)^{(1/3)} \quad (4)$$

için;

$$(Re Pr D_h/L) \geq 33.33 \quad (5)$$

$$Nu_{ort} = 4.364 + 0.0722 \left( Re_{D_h} Pr \frac{D_h}{L} \right)^{(1/3)} \quad (6)$$

için;

$$(Re Pr D_h/L) < 33.33 \quad (7)$$

Peclet sayısı, ortalama ısı transfer katsayısı, Reynolds sayısı, Prandtl sayısı, ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} \cdot \bar{U} \cdot D_h}{\mu_{nf}} \quad (8)$$

$$Pr_{nf} = \frac{c_{p_{nf}} \cdot \mu_{nf}}{k_{nf}} \quad (9)$$

$$h_{ort} = \frac{q}{(T_w - T_b)} \quad (10)$$

Denklemden  $h$  ortalama ısı taşınım katsayısıdır.  $T_w$  yüzeyin cidar sıcaklığı,  $T_b$  ortalama akışkan sıcaklığıdır. Ortalama akışkan sıcaklığı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$T_b = \frac{T_g + T_c}{2} \quad (11)$$

$T_g$  akışkanın giriş sıcaklığı,  $T_c$  akışkanın çıkış sıcaklığıdır.

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (12)$$

Çalışmanın sayısal modellemesinde; FDM'nin sıvı fazı, üç boyutlu, kararsız, laminar ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilir. Hesaplama alanındaki ısı transferleri, katı faz ve sıvı fazdaki iletimin etkisi ile gerçekleşir. Faz değişimi sırasında FDM hacmindeki değişiklik dikkate alınmaz. FDM eritmeyi simüle etmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki gibi sağlanır (Kok 2020).

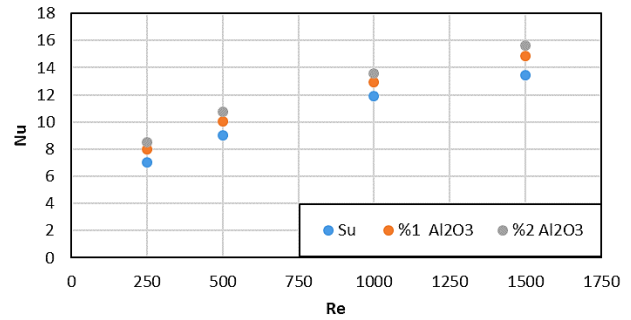
$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = \mu \nabla^2 \vec{u} - \nabla p + \rho \vec{g} + \vec{S} \quad (14)$$

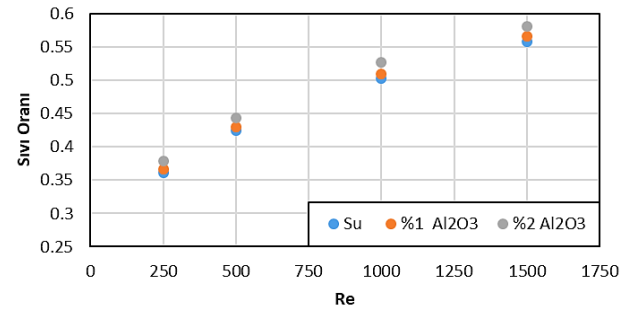
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} L H) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (15)$$

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Geometride laminar akış ele alınarak 250, 500, 1000, 1500 Reynolds sayılarında su, %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su, %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su kullanılarak sistem üzerine etkileri incelenmiş ve birbirleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ve farklı akışkanlar için elde edilen sayısal sonuçlar için Nusselt sayısı değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere 250, 500, 1000, 1500 Reynolds sayılarında ki en yüksek Nusselt değerine Reynolds 1500 sayısında ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkan tipinde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 2. Farklı akışkanlar için Reynolds sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının değişimi



Şekil 3. Su ve nanoakışkanların Reynolds'a göre sıvı oranı

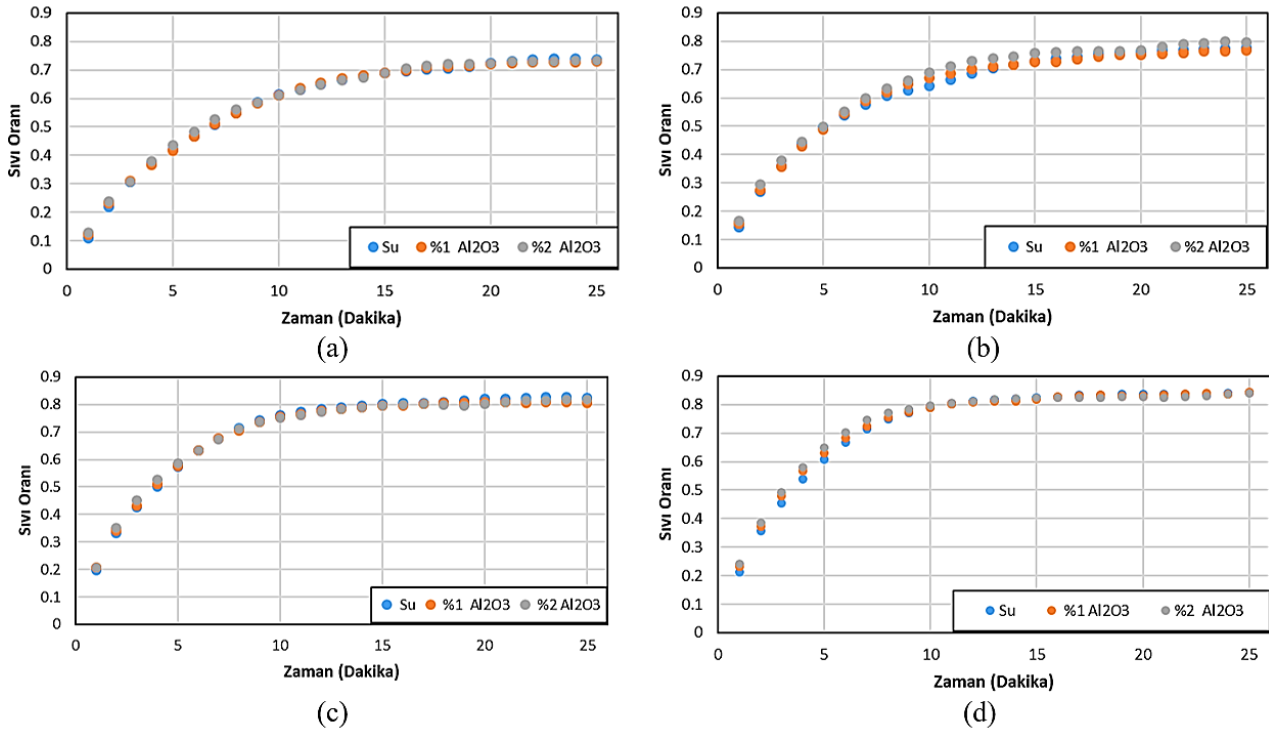
250, 500, 1000 ve 1500 değerlerindeki farklı Reynolds sayılarında boru içerisinden geçirilen su, %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanlarının sıvı oranına etkileri Şekil 3'de gösterilmiştir. En iyi sıvı oranı tüm akışkanlar için 1500 Reynolds sayısında görülmüştür. Akışkan olarak ise %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için en iyi sıvı oranına ulaşıldığı görülmüştür. Reynolds sayısı 1500 için sıvı oranları incelendiğinde kararlı hale geçmeden önce su için sıvı oranı % 55.833, %1

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

$Al_2O_3$ /su sıvı oranı % 56.636, %2  $Al_2O_3$ /su için sıvı oranı % 58.0897 olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4'de 250, 500, 1000 ve 1500 Reynolds sayılarındaki akışkanların zamana bağlı sıvı oranlarının değişimi gösterilmiştir. Şekil 4 (a) sıvı oranlarını en düşük çıktığı durum olmuştur. Son zaman adımı kararlı duruma gelen akışkanların sıvı oranları su için %73.0429, %1  $Al_2O_3$ /su için %73.4654, %2  $Al_2O_3$ /su içinse %73.6565 olduğu görülmüştür. Şekil 4 (b)'de erime oranı zamana bağlı en iyi %2  $Al_2O_3$ /su de görülmüştür. Yirmi beşinci dakikada kararlı duruma geldiğinde tüm akışkanların erime oranlarını verecek olursak su için %77.6735, %1  $Al_2O_3$ /su için %76.8643, %2  $Al_2O_3$ /su içinse %79.6182'dir. Şekil 4 (c)'de  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanının, %1 ve %2 hacimsel derişimlerinde nanoparçacık

içeren nanoakışkanlarının sayısal sonuçları su ile karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç %2  $Al_2O_3$ /su da elde edilmiştir. Erime oranlarına incelendiğinde su için % 80.6244, %1  $Al_2O_3$ /su için % 81.6996, %2  $Al_2O_3$ /su için ise % 82.4657'dir. Re 1500 için zamana bağlı olarak akışkanların sıvı oranını ne kadar etkilediği Şekil 4 (d)'de verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere sıvı oranı zamana bağlı olarak arttığı ve en iyi erime halinin %2  $Al_2O_3$ /su derişimindeki nanoakışkan için gerçekleştiği görülmüştür. En iyi erimenin %2  $Al_2O_3$ /su derişimindeki nanoakışkan da gerçekleşmesinin sebebi, diğer akışkanlara göre ısı iletim katsayısının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Nicel olarak erime oranlarını ifade edecek olursak su için % 83.2412, %1  $Al_2O_3$ /su için % 84.09508, %2  $Al_2O_3$ /su için ise % 84.8648'dir.



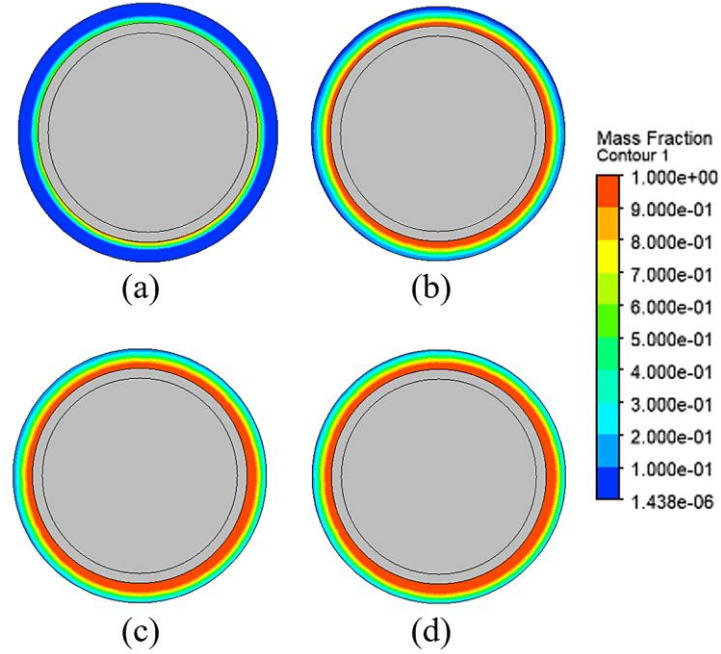
Şekil 4. Su ve nanoakışkanların zamana bağlı sıvı oranı (a) Re 250 (b) Re 500 (c) 1000 (d) 1500

Sıvı oranlarının en yüksek elde edildiği durum olan Reynolds 1500 ve %2  $Al_2O_3$ /su için sıvı oranlarının eş eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Borunun önünden kesit görünümü alınmış olup farklı zamanlarda sürenin artmasına bağlı olarak sıvı oranının da arttığı görülmüştür. Zaman bakılacak olursa birinci dakika da boru etrafının mavi renk olması FDM'nin katı halde olduğunu erime oranının

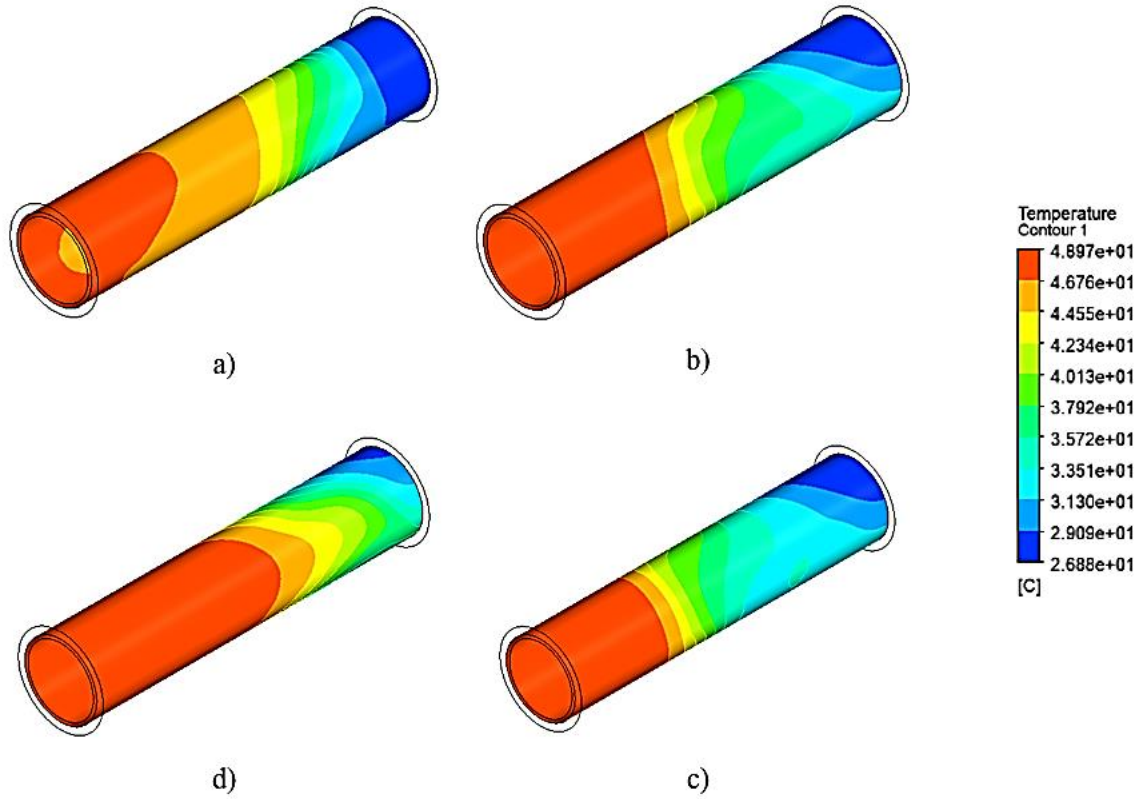
görüldüğü anlaşılabilir. Yirmi beşinci dakika da ise oluşan kırmızı renk FDM'nin eridiği anlamına gelmektedir. Reynolds 1500 ve %2  $Al_2O_3$ /su göz önünde bulundurularak zamana bağlı sıcaklık eş eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Tam boru profilinden verilen sıcaklık eş eğrilerini boruda sıcaklık dağılımını net bir şekilde gösterilmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak ısı transferinin arttığı, boru girişinde ki

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.987436

sıcaklık ile boru çıkışında ki sıcaklığın farkı açıkça belli olmaktadır. FDM'ler ısıyı depoladığından giriş ve sıcaklık farkını açıklamaktadır.



Şekil 5. Re 1500 de %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için sıvı erime görünümü a) 1. Dakika b) 9.dakika c) 18.dakika d) 25.dakika



Şekil 6. Re 1500 de %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için sıcaklık görünümü a) 1. Dakika b) 9.dakika c) 18.dakika d) 25.dakika

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, nanoakışkanların ve suyun farklı Reynolds sayılarındaki Nusselt sayısı değerleri ile FDM'nin sıvı oranı incelenmiştir. Elde edilen sayısal veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre kıyaslaması yapıldığında, 1500 Reynolds sayısı değerinde Nusselt sayıları sırasıyla su için 13.4653, %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanı için 14.858 ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanında ise Nusselt sayısı 15.6618 bulunmuştur. En yüksek değer %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su'da görülürken suyun Nusselt sayısı akışkan tipleri içinde en az değere sahip olup %16.32 arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Farklı Reynolds sayılarında yapılan bu işlemlerde görüldüğü üzere Reynolds sayısı azaldıkça FDM'nin üzerine olan etkinin azaldığı tespit edilmiştir.

- 250, 500, 1000 ve 1500 Reynolds sayısı değerleri için en iyi erime oran değeri %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için gerçekleşmiştir. Bu Reynolds sayılarında %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su ile suyun erime oranlarındaki artış aralığı %0.61-%1.94'tür.
- FDM de oluşan erime zamana bağlı olarak arttığı ve bir süre sonra kararlı hale geldiği için sıvı oranında belirgin bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

## Semboller ve Kısaltmalar

$C_p$	özgül ısı (J/(kg.K))
$D_d$	dış çap (mm)
$D_f$	faz değiştiren malzemenin çapı (mm)
$D_h$	hidrolik çap (mm)
$D_i$	iç çap (mm)
$k$	ısı iletkenliği (W/(m.K))
$L$	uzunluk (mm)
$n_f$	Nanoakışkan
$T$	sıcaklık (°C)

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

$\rho$	yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\mu$	viskozite (Pa.s)
$\Omega$	boyutsuz dönme hızı
$\Phi$	nanopartikül konsantrasyonu
FDM	Faz Değiştiren Malzeme
Gr	Grashof sayısı
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
Ri	Richardson sayısı

### 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

- Ahmed, Zahir U., Yasir M. Al-Abdeli, and Miccal T. Matthews. 2015. "The Effect of Inflow Conditions on the Development of Non-Swirling versus Swirling Impinging Turbulent Jets." *Computers and Fluids* 118:255–73. doi: 10.1016/j.compfluid.2015.06.024.
- Azari, Ahmad, Mansour Kalbasi, Masoud Derakhshandeh, and Masoud Rahimi. 2013. "An Experimental Study on Nanofluids Convective Heat Transfer through a Straight Tube under Constant Heat Flux." *Chinese Journal of Chemical Engineering* 21(10):1082–88. doi: 10.1016/S1004-9541(13)60618-7.
- Bakır, Eda, Fatih Bayrak, and Hakan Öztop. 2021. "Experimental Analysis of PV/T Collectors Assisted with PCM for Off-Grid Domestic Applications." *European Journal of Science and Technology* (23):627–36. doi: 10.31590/ejosat.841922.
- Chatterjee, Dipankar, Satish Kumar Gupta, and Bittagopal Mondal. 2014. "Mixed Convective Transport in a Lid-Driven Cavity Containing a Nanofluid and a Rotating Circular Cylinder at the Center." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 56:71–78. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.06.002.
- Derouich, Y., Z. Nasri, S. Abide, and A. H. Laatar. 2018. "Inclination Effects on Heat Transfer by an Oscillating Square Cylinder in Channel Flow." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 125:1105–20. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.103.
- Elsheniti, Mahmoud B., Moataz A. Hemedah, M. M. Sorour, and Wael M. El-Maghlany. 2020. "Novel Enhanced Conduction Model for Predicting Performance of a PV Panel Cooled by PCM." *Energy Conversion and Management* 205(January):112456. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112456.

- Gkoutas, Apostolos A., Lefteris Th. Benos, Konstantinos Stefanos Nikas, and Ioannis E. Sarris. 2020. "Heat Transfer Improvement by an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water Nanofluid Coolant in Printed-Circuit Heat Exchangers of Supercritical CO<sub>2</sub> Brayton Cycle." *Thermal Science and Engineering Progress* 20(May):100694. doi: 10.1016/j.tsep.2020.100694.
- Hassani, S. M., M. Khoshvaght-Aliabadi, and S. H. Mazloumi. 2018. "Influence of Chevron Fin Interruption on Thermo-Fluidic Transport Characteristics of Nanofluid-Cooled Electronic Heat Sink." *Chemical Engineering Science* 191:436–47. doi: 10.1016/j.ces.2018.07.010.
- Heris, S. Zeinali, S. Gh Etemad, and M. Nasr Esfahany. 2006. "Experimental Investigation of Oxide Nanofluids Laminar Flow Convective Heat Transfer." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 33(4):529–35. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.01.005.
- Hussein, Adnan M., R. A. Bakar, and K. Kadrigama. 2014. "Study of Forced Convection Nanofluid Heat Transfer in the Automotive Cooling System." *Case Studies in Thermal Engineering* 2:50–61. doi: 10.1016/j.csite.2013.12.001.
- Işık, E. & Tuğan, V.(2021). Dairesel Bir Boruda Kullanılan Boyuna Dalgalı Kanatçıkların Isı Transferine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi . *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 19-26. doi:10.29132/ijpas.907077
- İşkan, Ü., Direk, M., Yüksel, F. & Soyly, E. (2021). Otomobil İklimlendirme Sistemlerinde Farklı Soğutucu Akışkan Kullanılmasında Kompresörün Hacimsel Verim Analizi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, (1),41-50. doi:10.29132/ijpas.881952
- Keshavarz Moraveji, Mostafa, Reza Mohammadi Ardehali, and Ali İjam. 2013. "CFD Investigation of Nanofluid Effects (Cooling Performance and Pressure Drop) in Mini-Channel Heat Sink." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 40(1):58–66. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.10.021.
- Kok, Besir. 2020. "Examining Effects of Special Heat Transfer Fins Designed for the Melting Process of PCM and Nano-PCM." *Applied Thermal Engineering* 170(August 2019). doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.114989.
- Lo, D. C., C. P. Lee, and I. F. Lin. 2018. "An Efficient Immersed Boundary Method for Fluid Flow Simulations with Moving Boundaries." *Applied Mathematics and Computation* 328:312–37. doi: 10.1016/j.amc.2018.01.022.
- Mohammadpourfard, M., H. Aminfar, and M. Karimi.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.987436

2016. "Numerical Investigation of Non-Uniform Transverse Magnetic Field Effects on the Swirling Flow Boiling of Magnetic Nanofluid in Annuli." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 75:240–52. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.04.019.
- Nnanna, A. G. Agw., William Rutherford, Wessam Elomar, and Brian Sankowski. 2009. "Assessment of Thermoelectric Module with Nanofluid Heat Exchanger." *Applied Thermal Engineering* 29(2–3):491–500. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.03.007.
- Pirathepan, M., and T. N. Anderson. 2014. "An Experimental Investigation of Turbulent Forced Convection Heat Transfer by a Multi-Walled Carbon-Nanotube Nanofluid." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 57:286–90. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.08.010.
- Saqr, Khalid M., and Mazlan A. Wahid. 2014. "Effects of Swirl Intensity on Heat Transfer and Entropy Generation in Turbulent Decaying Swirl Flow." *Applied Thermal Engineering* 70(1):486–93. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.05.059.
- Selimefendigil, Fatih, and Hakan F. Öztop. 2020. "Mixed Convection in a PCM Filled Cavity under the Influence of a Rotating Cylinder." *Solar Energy* 200(June 2019):61–75. doi: 10.1016/j.solener.2019.05.062.
- Won, S. Y., and P. M. Ligrani. 2004. "Comparisons of Flow Structure and Local Nusselt Numbers in Channels with Parallel- and Crossed-Rib Turbulators." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47(8–9):1573–86. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.10.026.
- Xuan, Yimin, and Qiang Li. 2000. "Heat Transfer Enhancement of Nanofluids." *International Journal of Heat and Fluid Flow* 21(1):58–64. doi: 10.1016/S0142-727X(99)00067-3.

## Gama Işımasının Kolza Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Akar Doğan<sup>1\*</sup>, Yılmaz Kısmet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Munzur Üniversitesi, Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup> Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Tunceli, Türkiye

\*akardogan@munzur.edu.tr , ykismet@munzur.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 16.09.2021, Makale kabul tarihi: 01.11.2021

### Öz

Bu çalışmada, kurutulmuş ve toz haline getirilmiş kolza bitkisi takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemenin, çekme, üç nokta eğilme ve Izod darbe mukavemetleri gibi mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle matris malzemesi polipropilen olan ve ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranında kolza içeren numuneler ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Üretilen malzemelerin bir kısmı gama ışımaya tabi tutularak matris ve dolgu malzemesi arasındaki fiziksel bağlanma mekanizması güçlendirilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda ışımaya öncesi ve ışımaya sonrası numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler araştırıldı. Yapılan testler sonucunda, çekme ve Izod darbe mukavemetleri, takviye olarak kullanılan kolza miktarının artması ile düştüğü, eğilme mukavemetinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Gama ışımaya maruz bırakılan numunelerin çekme, eğilme ve Izod darbe mukavemetlerinde gama ışımaya maruz bırakılmamış numunelere göre artış meydana geldiği tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Gama ışımaya, kolza, mekanik özellikler, polipropilen

## Effect of Gamma Radiation on Mechanical Properties of Rape Reinforced Polypropylene Composite Material

### Abstract

In this research, the mechanical properties of the dried and powdered rape reinforced polypropylene matrix composite material such as tensile, three-point bending and Izod impact strengths were experimentally investigated. Initially, samples whose matrix material was polypropylene and containing 5%, 10% and 20% by weight rape were produced using extrusion and plastic injection techniques. Some of the samples produced were exposed to gamma irradiation to strengthen the physical bonding mechanism between the matrix and the filling material. In this direction, the changes in the mechanical properties of the samples before and after gamma irradiation were investigated. As a result of the tests, it was observed that the tensile and Izod impact strengths decreased with the increase in the amount of rape used as reinforcement, while the bending strength increased slightly. It was determined that the tensile, bending and Izod impact strengths of the samples exposed to gamma irradiation increased compared to the samples that were not exposed to gamma irradiation.

**Keywords:** Gamma radiation, rape, mechanical properties, polypropylene

### GİRİŞ

Kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek mukavemet ağırlık oranları gibi özellikler sayesinde günümüzde birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır (Doğan ve Arman, 2018; Madenci ve Ozutok, 2020; Madenci ve ark., 2020). Polimer kompozitlerde takviye elemanı sentetik ve doğal lifler olarak kategorize edilebilir. Sentetik liflerden bazıları cam, karbon, bazalt ve Kevlar'dır (Kısmet ve Doğan, 2021). Sentetik lifler sahip oldukları iyi mekanik

özellikler nedeniyle on yıllardır sıklıkla kullanılmaktadır (Özkılıç ve ark., 2020; Madenci ve ark., 2020). Bununla birlikte, kompozit malzemeye duyulan ihtiyacın artması ile özellikle karbon ve cam elyaf gibi sentetik liflerin yüksek maliyetleri nedeniyle günümüzde pek çok bilim insanı ve araştırmacı, çevreye olan zararı azaltmak ve maliyetleri düşürmek için cam ve karbon elyaf gibi sentetik takviye elemanlarının yerine, doğal liflerin

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

kullanımını araştırarak hem ucuz hemde çevre dostu ürünler yapmaya büyük ilgi göstermişlerdir. Ayrıca, sürdürülebilir olmayan ürünleri sürdürülebilir ürünlerle değiştirilmesi büyük bir ihtiyaç ve gerekliliktir (Jariwala ve Jain, 2019; Singh ve ark., 2020; Kandas ve Özdemir, 2021). Bu sebeplerden dolayı doğal elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler üzerine birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Muz lifi (Kenned ve ark., 2020), hindistan cevizi lifi (Widnyanave ark, 2020), bambu (Aruchamy ve ark., 2020), jüt (Ovalı ve Sancak, 2020) ve keten (Wang ve ark., 2020) en çok tercih edilen doğal lifler olarak sıralanabilir.

Doğal liflerin en büyük dezavantajı, polimer malzemeler ile bir araya geldiğinde düşük ara yüzey yapışmalarına sahip olmalarıdır. Araştırmacılar, bu ara yüzey yapışma mukavemetini arttırmak için çeşitli yöntemler denemiştir. Bu yöntemler fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bununla birlikte fiziksel yöntemler pahalı oldukları için kimyasal yöntemler daha sık kullanılmaktadır (Vigneshwaran ve ark., 2020). Bu kimyasal yöntemlerin en çok kullanılanları ise alkali (Fiore ve ark., 2015; Alothman ve ark., 2020), Silan (Girones ve ark., 2007; Agrebi ve ark., 2020) ve asetilasyon (Simimol ve ark., 2020; Zaman ve ark., 2021) iyileştirilmesidir. Fiziksel iyileştirme yöntemlerine ise yüzey enerjisini arttıran ve doğal liflerin yüzeyini oksitleyen ve dolayısıyla hidrofilik lifler ile hidrofobik matris arasındaki uyumluluğu iyileştiren Korona yöntemi (Sreekala ve ark., 2000) ile zayıf bir şekilde bağlanmış yüzey katmanlarını kaldırarak ve yeni fonksiyonel gruplar oluşturarak liflerin yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanılan plazma yöntemi (Koohestani ve ark., 2018) örnek olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada ise literatürde yeteri kadar araştırılmamış olan kolza bitkisinin önemli bir ticari termoplastik olan polipropilende (PP) takviye elemanı olarak kullanılması incelenmiştir. Kurutulmuş ve toz haline getirilmiş kolza bitkisi ile güçlendirilmiş polipropilen kompozit numunelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve ağırlıkça farklı oranlarda kolza takviyesi ile bu polipropilen numunelerinin çekme, üç nokta eğilme ve izod darbe mukavemetlerinde ki değişimler grafiklerle verilerek tartışılmıştır. Ayrıca, bu malzemeler gama ışınına maruz bırakılarak, ışımanın matris ve takviye elemanı üzerindeki etkileride incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda gama ışıması ile ağırlıkça farklı oranda

kolza içeren tüm numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada matris malzemesi olarak önemli bir ticari termoplastik olan polipropilen malzemesi kullanılmıştır. PETOPLN EH102 kodlu polipropilen malzemesi PETKİM (Türkiye) şirketinden temin edilmiştir. Takviye elemanı olarak ise öğütülerek küçük parçalar haline getirilmiş kurutulmuş kolza bitkisi kullanılmıştır. Güneş ışığında iki hafta boyunca kurutulan kolza bitkisi daha sonra öğütülmüştür. Öğütülen kolza bitkisinin boyutlarının birbirine yakın olması için önce 1 mm'lik elekten daha sonra 0.6 mm elekten geçirilmiştir ve elekte kalan malzemeler kullanılmıştır. Matris malzemesine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında kolza takviye edilerek farklı oranlara sahip karışımlar elde edilmiştir. Malzemelerin öncelikle eriyik akış indeksleri (MFI) belirlenmiştir. MFI testleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan "JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model" MFI eriyik akış cihazı kullanılarak ASTM D1238 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu standartlar çerçevesinde polipropilen için 230/2.16 değerleri yani 2.16 kg ağırlık ve 230 °C sıcaklık kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de farklı oranlardaki kolza takviyeli polipropilen kompozit malzemesine ait eriyik akış indeksleri verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere kolza katkısının artışı ile eriyik akış indeksinde düşüş meydana gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin eriyik akış indeksi 10.67 gr/10 dakika iken bu değer %20 kolza takviyeli polipropilen malzemesinde 6.71 gr/10 dakika olarak ölçülmüştür. Malzemenin eriyik akış indeks değerleri ile matrise eklenecek maksimum takviye miktarı hakkında bilgi elde edilmiştir. Ağırlıkça %20 kolza takviyesinin üzerindeki malzemelerde eriyik akış indeksi oldukça düşmektedir. Bu nedenle ağırlıkça daha yüksek takviye malzemesine sahip kompozit malzemeler üretilmemiştir. Ayrıca MFI testi ile ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerinde kullanılacak parametreler hakkında, özellikle sıcaklık ile ilgili ön bilgiler belirlemiştir. Eriyik akış indeksleri belirlendikten sonra bu karışımlar önce bir mikserde mekanik olarak karıştırılmış, ardından homojen bir karışım elde etmek için tek vidalı bir ekstrüzyon makinesine dökülerek plastik şerit elde edilmiştir. Bu homojenleştirme işlemi için 150 ila 170 ° C'de farklı



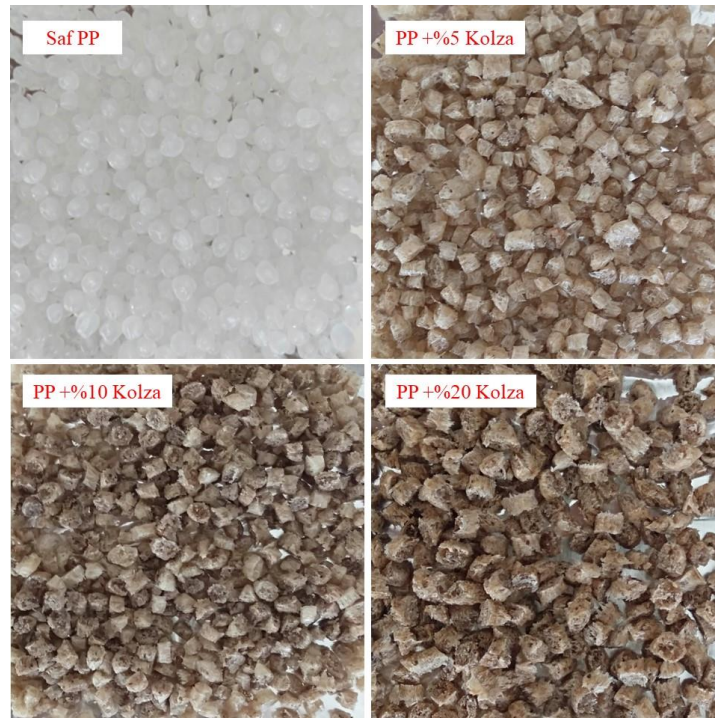
Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.996361

sıcaklıklara sahip üç bölge ve bir kalıp ısıtmalı ekstrüzyon kullanılmıştır. Ekstrüder çıkışında 4 mm çapındaki silindirik kesitten akan erimiş şerit halindeki karışım soğutma havuzuna daldırıldıktan hemen sonra bir konveyör bant vasıtasıyla kırıcıya gönderilmiştir. Malzeme kırıcıdan geçirilerek 3 ila 5

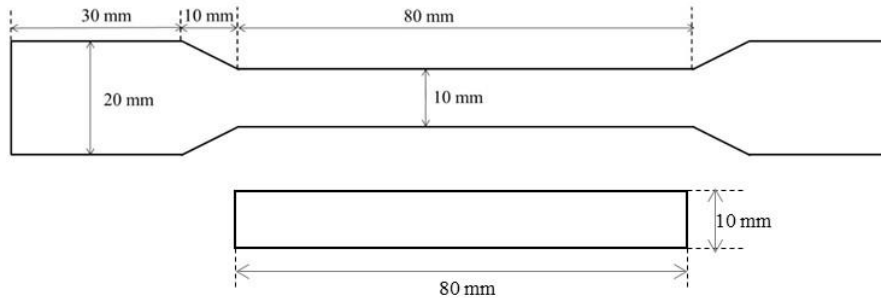
mm boyutlarında granüller elde edilmiştir. Şekil 1’de saf ve farklı oranlarda kolza takviyeli polipropilen granülleri verilmiştir. Daha sonra bu granüller plastik enjeksiyon makinasına (EKİN 100 Ton) dökülerek Şekil 2’de boyutları verilen standart test numuneleri üretilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı miktarda kolza malzemesi takviyeli PP Kompozit malzemesine ait eriyik akış indeksi

	Saf PP	PP+%5Kolza	PP+%10Kolza	PP+%20Kolza
<b>MFI (gr/10dak.)</b>	10.67	9.48	7.97	6.71



**Şekil 1.** Farklı oranlarda kolza takviyeli PP granüller



**Şekil 2.** Standart çekme ve üç-nokta eğilme test numunelerinin şematik olarak gösterimi

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.996361

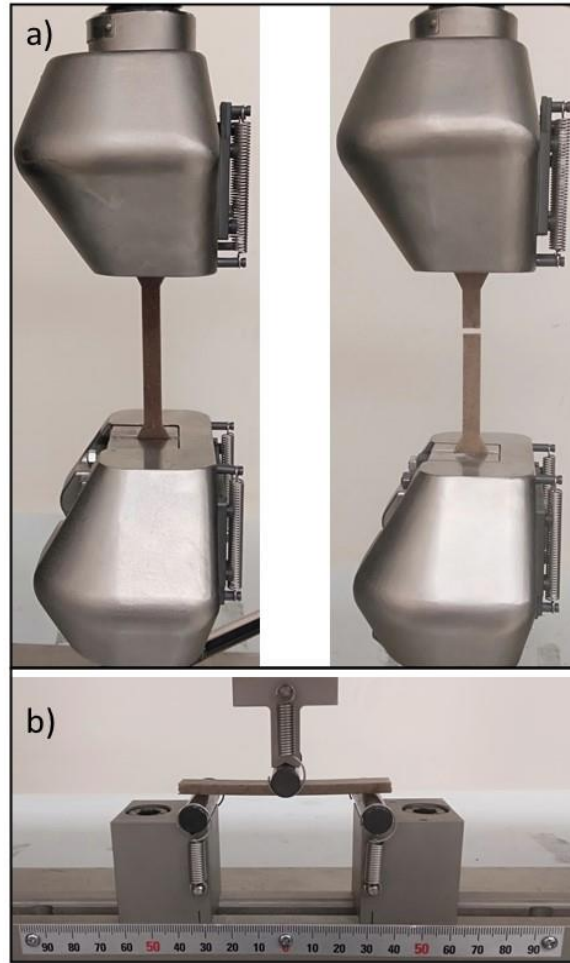
Gama ışınması etkisinin incelenmesi için, üretilen test numuneleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nda (TAEK) 24 saat boyunca 45 kGry gama ışınmasına maruz bırakılmıştır. Polipropilen ve kolza takviyesi ile oluşturulan kompozitlerin mekanik özelliklerindeki değişimler hem takviye elamanının oranına hem de gama ışınmasının etkisine bağlı olarak incelenmiştir. Bu mekanik özellikler kapsamında gerçekleştirilen çekme ve üç nokta eğilme testleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan ve 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu AG-IC test cihazında yapılmıştır. Şekil 3a' da çekme testi öncesi ve sonrası test düzeneği ile çekme numunesi verilmiştir. Çekme testleri EN ISO 527 standardına uygun olarak 50 mm/dakika hız altında gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğilme testleri ise EN ISO 178 test standardına göre yapılmış ve test

hızı 10 mm/dakika olarak seçilmiştir. Üç nokta eğilme düzeneği Şekil 3b'de gösterilmiştir. Burada destekler arası mesafe 64 mm, destek çapları ise 10 mm'dir. Eğilme mukavemeti ( $\sigma_b$ ) Denklem 1 yardımı ile bulunmuştur.

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2bt^2} \quad (1)$$

Burada F kuvvet, L destekler arası mesafe, b numune genişliği, t ise numune kalınlığıdır.

Bu testler sonucunda malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri elde edilmiştir. Malzemelerin Izod darbe mukavemetlerini belirlemek için, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan Ceast Fractovis Plus test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. Çekme testi ve eğilme testi düzenekleri

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Ağırlıkça farklı oranlarda kolza takviyesine sahip polipropilen malzemelerinin ve aynı zamanda bu malzemelerin gama ışımaya tabi tutulma durumlarına bağlı olarak elde edilen mekanik özelliklerine ait değişimler aşağıda sunulmuştur.

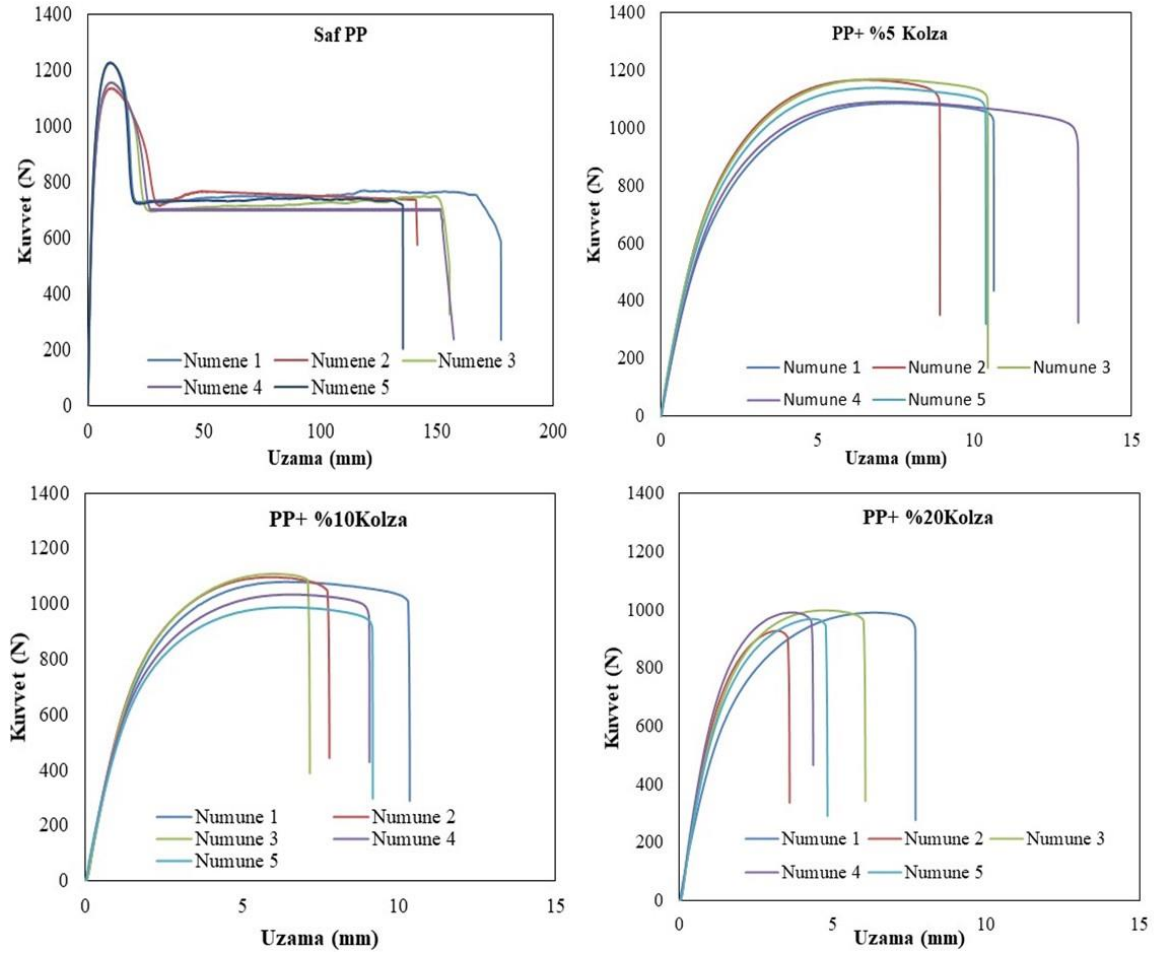
Saf polipropilen ve kolza takviyeli malzemelerin çekme testi sırasında elde edilen kuvvet-uzama eğrileri Şekil 4'de verilmiştir. Her bir malzeme için testler beş kez tekrarlanmıştır ve ortalama değerler alınarak standart sapmaları ile birlikte grafiklerde sunulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere malzemelerin uzama değerlerinde dramatik bir düşüş meydana gelmiştir. Takviyeli malzeme saf malzemeye oranla daha gevrek bir duruma gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin ortalama uzama değeri 150 mm civarında iken bu değer %20 kolza takviyeli propilen malzemesinde 6 mm'ye kadar düşmüştür. Saf polipropilen malzemesi maksimum kuvvete ulaştıktan sonra bir miktar düşmüş ve daha sonra sabit kuvvet altında uzadıktan sonra kopmuştur. Bununla birlikte kolza takviyeli malzemelerde kuvvet maksimum değere ulaştıktan bir müddet sonra kopma meydana gelmiştir. Çekme testi sonucunda hasara uğramış malzemelerin görüntüleri şekil 5'de verilmiştir. Yukarıda bahsedilen, katkı malzemesi ile birlikte malzemenin gevrek hale gelmesi şekilde açıkça görülmektedir.

Ağırlıkça farklı oranda kolza takviye edilen polipropilen matrisli kompozitlerin gama ışınması öncesi ve sonrası çekme mukavemeti değerleri Şekil 6a'da verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, kolza takviyesi miktarının artışı ile, malzemenin çekme mukavemetinde düşüş eğilimi vardır. Saf polipropilen malzemesinin çekme mukavemeti 30.2 MPa iken %5, %10 ve %20 kolza takviyeli polipropilen kompozit malzemelerinin çekme mukavemetleri sırası ile 28.60 MPa, 25.10 MPa ve 23.70 MPa olarak belirlenmiştir. Gama ışımaya maruz bırakılan aynı karışım oranlarına sahip numunelerin ise çekme mukavemetinde ışınma etkisi ile artış meydana gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin çekme mukavemeti 31.80 MPa olarak ölçülmüş, bu da yaklaşık %5 artışa denk gelmektedir. Bununla birlikte, %5, %10 ve %20 kolza takviyeli polipropilen kompozit numunelerin çekme

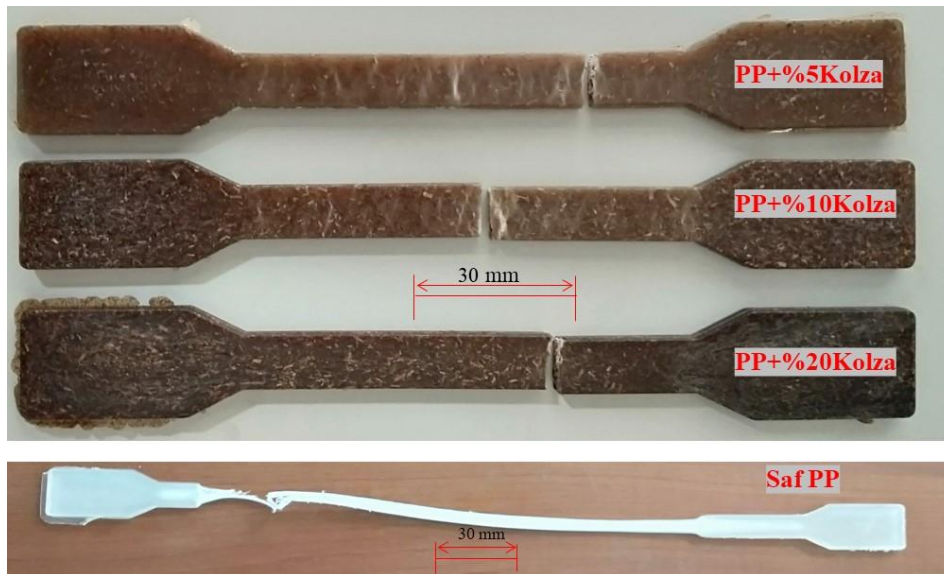
mukavemetleri gama ışınması sonrası sırasıyla 30.60 MPa, 28.20 MPa ve 26.70 MPa olmuştur. Gama ışınması etkisi ile %5 kolza takviyeli malzemenin çekme mukavemeti %7 oranında artarken, %10 ve %20 kolza takviyeli malzemelerin çekme mukavemetinde ise yaklaşık %12 oranında bir artış meydana gelmiştir. Çekme mukavemetindeki bu düşüş benzer şekilde, Yetkin ve Çolak (2020) tarafında sunulan grafit katkılı polipropilen kompozit malzede görülmüştür. Bu düşüşün sebebi, katkı malzemesi ile polimer matris arasında oluşan zayıf arayüzey yapışması olabileceğini sunmuşlardır. Ayrıca, kolza katkı malzemesinin heterojen dağılması ve kolza malzemesinin mekanik özelliklerinin polipropilen malzemesinden düşük olma olasılığında bu düşüşe sebep olan etkenler arasındadır. .

Şekil 6b'de ağırlıkça farklı oranlarda kolza miktarına sahip numunelere ait üç nokta eğilme mukavemetlerinin değişimi verilmiştir. Çekme mukavemetinin aksine, eğilme mukavemetinde %5 kolza takviyeli malzeme bir miktar düşüş gözlenmiş ancak %10 ve %20 kolza takviyeli malzemelerde eğilme mukavemeti yükselmiştir. Saf polipropilen malzemesinin eğilme mukavemeti 43.10 MPa iken, %5 kolza miktarına sahip malzemenin eğilme mukavemeti bir miktar azalarak 42.70 MPa olmuştur. Bununla birlikte, kolza miktarı %10 ve %20 olan malzemelerin eğilme mukavemeti artarak sırasıyla 43.50 MPa ve 44.20 MPa olarak ölçülmüştür. Ancak şekilde de açıkça görüleceği üzere standart sapma değerleride yükselmiştir. Kolza malzemesinin homojen bir şekilde dağılmaması ve arayüzey yapışmasının düşük olması buna neden olarak gösterilebilir. Çekme mukavemetine benzer şekilde gama ışınması ile tüm numunelerin eğilme mukavemetleri aynı malzemelere göre yükselmiştir. Özellikle, %10 kolza takviyeli numunelerin eğilme mukavemeti %11 artarak 48.50 MPa olarak belirlenmiştir. Gama ışınması sonrası, Saf PP, ağırlıkça %5 ve %20 kolza katkılı numunelerin eğilme mukavemetleri sırasıyla 46.10 MPa, 46.30 MPa ve 47.20 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca şekilde de görüldüğü üzere, malzemelerin standart sapmalarında da gama ışınması sonrası düşüş meydana gelmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.996361

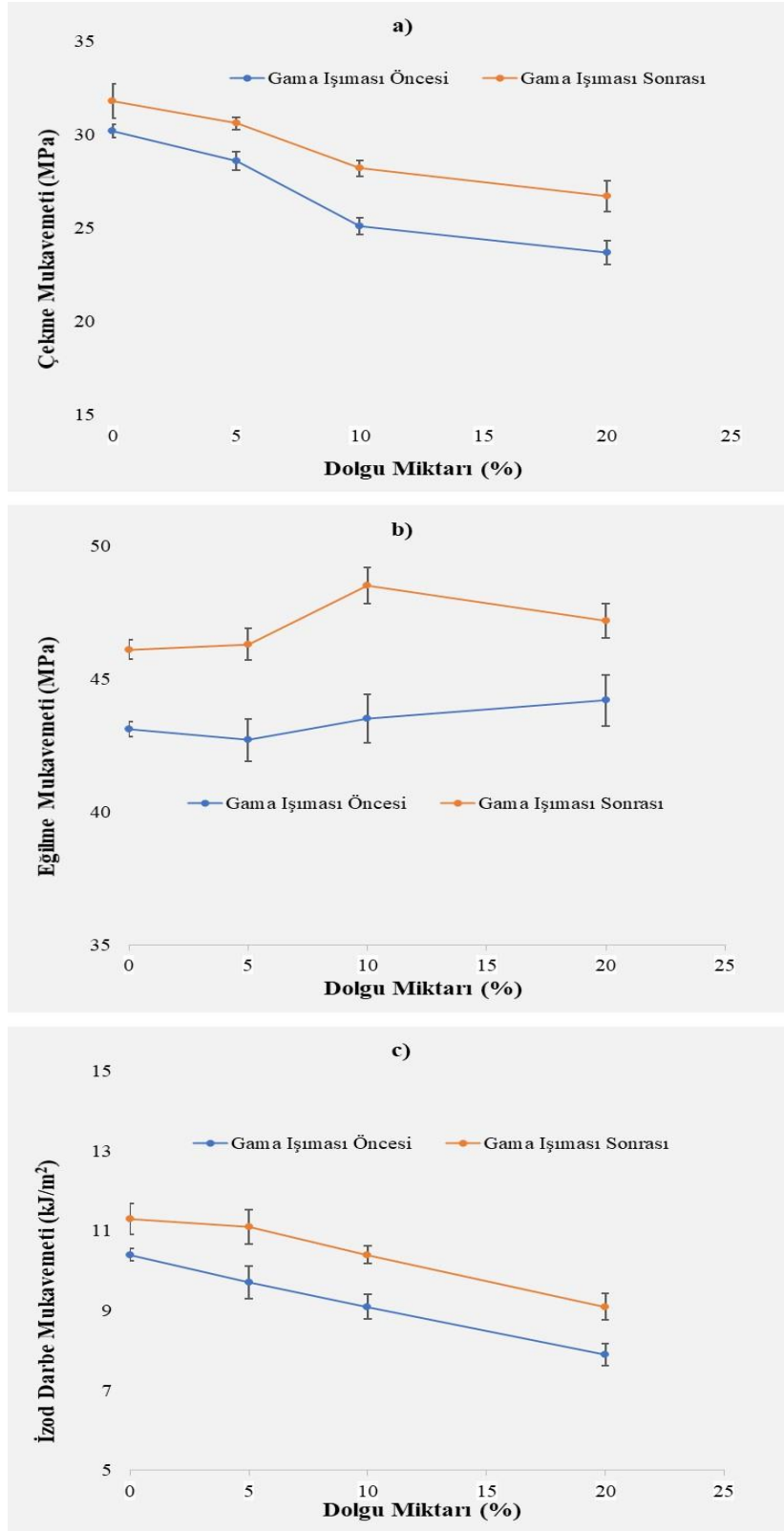


Şekil 4. Çekme testi sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrileri

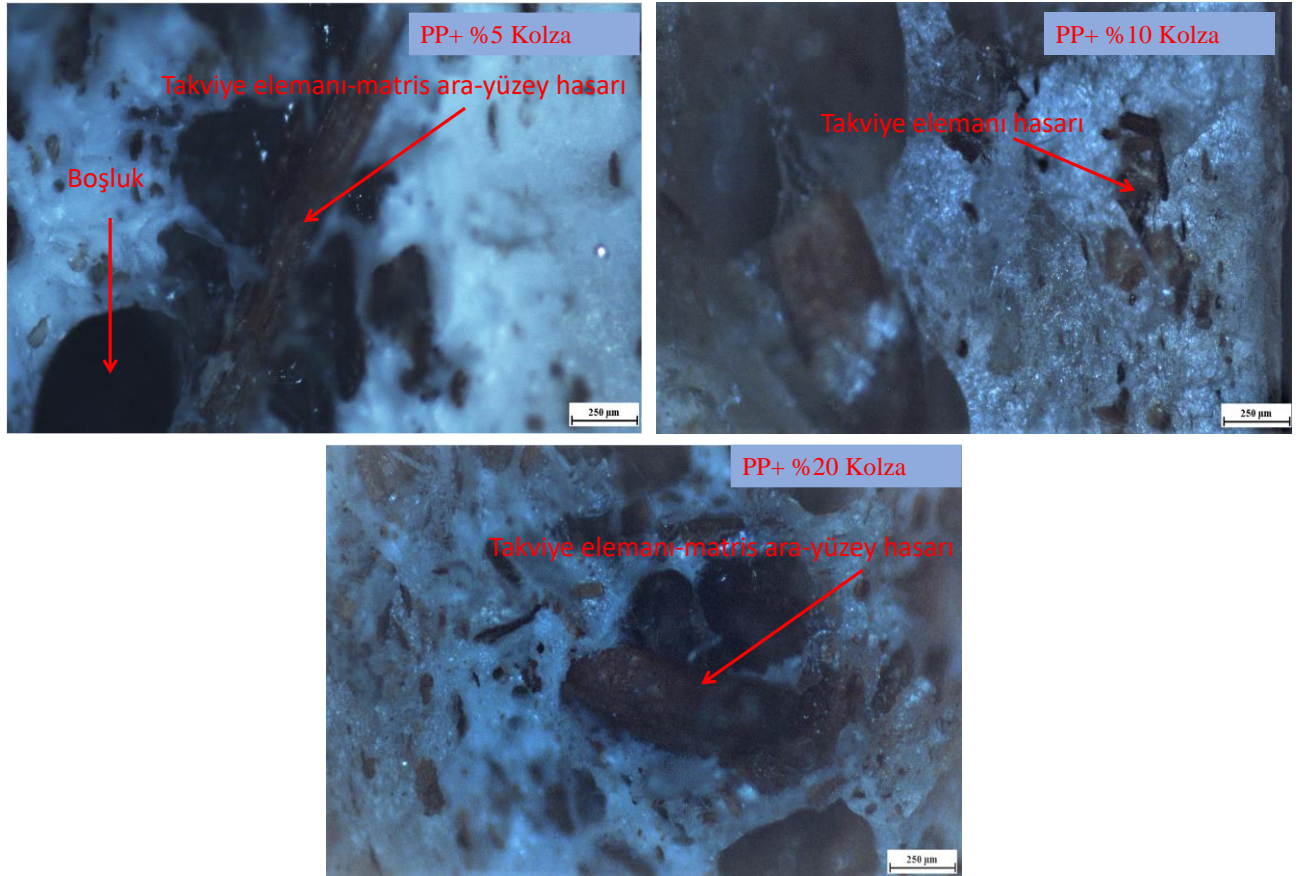


Şekil 5. Çekme testi sonucunda malzemelerde oluşan hasar görüntüleri

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.996361



Şekil 6. Gama ışıması öncesi ve sonrası kolza takviyeli PP numunelerinin a) çekme b) eğilme c) izod darbe mukavemetindeki değişim



Şekil 7. Hasara uğramış malzemelerin kesitlerinin mikroskopik görüntüleri

Şekil 6c'de ise izod darbe mukavemetinin kolza takviyesi miktarı ve gama ışıması ile değişimi gösteren grafikler verilmiştir. Şekilde açıkça görüleceği üzere takviye malzemesinin artışı ile izod mukavemetinde azalış meydana gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin izod darbe mukavemeti  $10.40 \text{ kJ/m}^2$  iken bu değer ağırlıkça %5, %10 ve %20 kolza takviyeli malzemeler için sırasıyla  $9.7 \text{ kJ/m}^2$ ;  $9.1 \text{ kJ/m}^2$  ve  $7.9 \text{ kJ/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Gama ışımasına maruz kalan numunelerin izod darbe mukavemetinde artış meydana gelmiştir. Saf PP ve ağırlıkça %5, %10 ve %20 kolza takviyeli PP numunelerin izod darbe mukavemetleri gama ışıması sonrası sırasıyla  $11.30 \text{ kJ/m}^2$ ,  $11.10 \text{ kJ/m}^2$ ,  $10.40 \text{ kJ/m}^2$  ve  $9.10 \text{ kJ/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Gama ışıması sonrası izod darbe mukavemetinde saf polipropilen de yaklaşık %8.6 artış olurken, kolza takviyeli malzemelerde gama ışıması sonrası izod darbe mukavemetinde %15'e yakın artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çekme testi sonucunda hasara uğramış kolza takviyeli polipropilen malzemelerinin kestlerinin mikroskopik görüntüleri NIKON marka ECLIPSE MA100 optik mikroskobu kullanılarak Şekil 7'de verilmiştir. Şekildedeki görüleceği üzere, takviye elemanı hasarı ve takviye elemanı ile matris arasındaki ara-yüzey hasarları ana hasar modlarıdır. Ayrıca homojen bir dağılım olmadığından dolayı meydana gelen boşluklarda mevcuttur. Bu boşluklarda malzemenin mukavemetinde düşüşe neden olacaktır.

#### DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ağırlıkça farklı oranlarda kolza takviyeli polipropilenin mekanik özelliklerindeki değişimler hem kolza oranına bağlı olarak hem de gama ışıması etkisine bağlı olarak araştırılmıştır. Polipropilen içerisinde ağırlıkça artan kolza miktarına bağlı olarak numunelerin çekme ve izod darbe dayanımlarının azaldığı tespit edildi. Bununla birlikte üç nokta eğilme testleri neticesinde ise

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

polipropilen içerisinde artan kolza miktarı ile numunelerin eğilme mukavemetinde artış görülmüştür. Ayrıca Gama ışımaya maruz bırakılan malzemelerin mekanik özellikleri iyileşmede çekme ve izod darbe mukavemetlerinin yine kolza takviyesinin artması ile düştüğü gözlenmiştir. Bu düşüşün önlemek için kolza malzemesine alkali iyileştirme gibi yüzey iyileştirme yöntemleri uygulanarak polipropilen ile kolza arasındaki arayüzey yapışma mukavemeti artırılabilir. Ayrıca çift vidalı ekstruder kullanılarak daha homojen bir yapı elde edilebilir. Böylece mekanik özellikler iyileştirilebilir.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

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

- Agrebi F., Hammami H., Asim M., Jawaid M., Kallel A. (2020). Impact of silane treatment on the dielectric properties of pineapple leaf/kenaf fiber reinforced phenolic composites. *Journal of Composite Materials*, 54 (7), 937-946.
- Alothman O.Y., Alrashed M.M., Anis A., Naveen J., Jawaid M. (2020). Characterization of date palm fiber-reinforced different polypropylene matrices. *Polymers*, 12 (3), 597.
- Aruchamy K., Subramani S.P., Palaniappan S.K., Sethuraman , Kaliyannan G.V. (2020). Study on mechanical characteristics of woven cotton/bamboo hybrid reinforced composite laminates. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (1), 718-726.
- Dogan A., Arman Y. (2018). The effect of hygrothermal aging on the glass and carbon reinforced epoxy composites for different stacking sequences. *Mechanics*, 24 (1), 19-25.
- Fiore V., Di Bella G., Valenza A. (2015). The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 68, 14-21.
- Girones J., Méndez J.A., Boufi S., Vilaseca F., Mutjé P. (2007). Effect of silane coupling agents on the properties of pine fibers/polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 103 (6), 3706-3717.
- Jariwala H., Jain P. (2019). A review on mechanical behavior of natural fiber reinforced polymer composites and its applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 38 (10), 441-453.
- Kandas, H., Özdemir O. (2021). Çam ve Meşe Palamudu Tozu Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23 (67), 147-155.
- Kenned J.J., Sankaranarayanan K., Binoj J.S., Chelliah S.K. (2020). Thermo-mechanical and morphological characterization of needle punched non-woven banana fiber reinforced polymer composites. *Composites Science and Technology*, 185, 107890.
- Kısmet Y., Dogan A. (2021). Characterization of the mechanical and thermal properties of rape short natural-fiber reinforced thermoplastic composites. *Iran Polym Journal* <https://doi.org/10.1007/s13726-021-00988-9>
- Koohestani B., Darban A.K., Mokhtari P., Yilmaz E. & Dazereshki, E. (2019). Comparison of different natural fiber treatments: a literature review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 629-642.
- Madenci E., Ozutok A. (2020). Variational approximate for high order bending analysis of laminated composite plates. *Structural Engineering and Mechanics*, 73(1), 97-108.
- Madenci E., Özkılıç Y.O., Gemi L. (2020). Theoretical investigation on static analysis of pultruded GFRP composite beams. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(3), 483-490.
- Madenci E., Özkılıç Y.O., Gemi, L. (2020). Experimental and theoretical investigation on flexure performance of pultruded GFRP composite beams with damage analyses. *Composite Structures*, 242, 112162.
- Ovalı S., Sancak E., (2020). Investigation of mechanical properties of jute fiber reinforced low density polyethylene composites. *Journal of Natural Fibers*, 1-18.
- Özkılıç Y.O., Madenci E., Gemi L. (2020). Tensile and compressive behaviors of the pultruded GFRP lamina. *Turkish Journal of Engineering*, 4(4), 169-175.
- Simimol A.S., Sebastian S., Ravindranath D.A., Jacob A. (2020). Enhancement of Physical, Mechanical and Morphological Properties of Coir by Mercerization and Acetylation. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5, 530-535.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.996361

- Singh Y., Singh J., Sharma S., Lam T.D., Nguyen D.N. (2020). Fabrication and characterization of coir/carbon-fiber reinforced epoxy based hybrid composite for helmet shells and sports-good applications: influence of fiber surface modifications on the mechanical, thermal and morphological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (6), 15593-15603.
- Sreekala M.S., Kumaran M.G., Joseph S., Jacob M., Thomas S. (2000). Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fibre surface modifications on the mechanical performance. *Applied Composite Materials*, 7(5), 295-329.
- Vigneshwaran S., Sundarakannan R., John K.M., Johnson R.D.J., Prasath K.A., Ajith S., Arumugaprabu V., Uthayakumar M. (2020). Recent advancement in the natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 124109.
- Wang A., Wang X., Xian G. (2020). Mechanical, low-velocity impact, and hydrothermal aging properties of flax/carbon hybrid composite plates. *Polymer Testing*, 90, 106759.
- Widnyana A., Rian G., Surata W., Nindhia T.G.D. (2020). Tensile Properties of coconut Coir single fiber with alkali treatment and reinforcement effect on unsaturated polyester polymer. *Materials Today: Proceedings*, 22, 300-305.
- Yetkin S., Çolak M. (2020). Grafit katkı polipropilen kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(2), 649-658.
- Zaman H.U., Khan R.A. (2021). Acetylation used for natural fiber/polymer composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34 (1), 3-23.



## Investigation of SARS-CoV-2 and Gastrointestinal Pathogens in a Municipal Wastewater Treatment Plant in Turkey

Murat Topal<sup>1\*</sup>, Zülal Aşçı Toraman<sup>2</sup>, E. Işıl Arslan Topal<sup>3</sup>, Ceren Sel Süer<sup>2</sup>, Erdal Öbek<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Munzur University, Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Tunceli, Turkey

<sup>2</sup> Fırat University, Faculty of Medical, Department of Basic Medical Sciences, Elazığ, Turkey

<sup>3</sup> Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Elazığ, Turkey

<sup>4</sup> Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Elazığ, Turkey

\*murattopal@munzur.edu.tr<sup>ID</sup>, zülalasci@gmail.com<sup>ID</sup>,  
eiarslan@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, ceren.sel@hotmail.com@gmail.com<sup>ID</sup>, eobek@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Received date:24.06.2021, Accepted date: 26.11.2021

### Abstract

In this study, SARS-CoV-2 and gastrointestinal pathogens in a municipal wastewater treatment plant (MWWTP) in Elazığ (Turkey) were investigated. The gastrointestinal pathogen analyzes were performed in influent and effluent of MWWTP, and SARS-CoV-2 analyzes were performed in different treatment units. According to obtained analysis results, gastrointestinal pathogens (bacterial, viral, EPA, and stool parasites) were detected in influent of the MWWTP. Enterohemorrhagic/verotoxin-producing *Escherichia coli*, all viral agents causing gastroenteritis (except sapoviruses (Sapo)), human parechovirus (HPeV) and adenoviruses from EPA, and *Giardia lamblia* from stool parasites were detected in effluents of the MWWTP. When bacterial agents causing gastroenteritis, viral agents, EPA, and stool parasites were investigated in the effluent of MWWTP, only 1 agent out of 7, 4 agents out of 6, 2 agents out of 3, and 1 agent out of 3 was detected as positive (+), respectively. SARS-CoV-2 could not be detected in the samples taken from each unit of the wastewater treatment plant. As a result, according to research findings, since pathogens are encountered in wastewater treatment plant effluents, it is necessary to have a disinfection system in the treatment plants and to 500onitör pathogens and SARS-CoV-2 continuously in order to protect environmental and human health.

**Keywords:** Gastrointestinal, pathogen, SARS-CoV-2, treatment, viruses, wastewater

## Türkiye’de Kentsel Bir Atıksu Arıtma Tesisinde SARS-CoV-2 ve Gastrointestinal Patojenlerin Araştırılması

### Öz

Bu çalışmada, Elazığ’da (Türkiye) bir kentsel atıksu arıtma tesisinde (AAT) SARS-CoV-2 ve gastrointestinal patojenler araştırılmıştır. Gastrointestinal patojen analizleri AAT giriş ve çıkış sularında, SARS-CoV-2 analizleri ise arıtma tesisinin farklı ünitelerinde yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre AAT’nin girişinde gastrointestinal patojenler (bakteriyel, viral, EPA ve dışkı parazitleri) tespit edilmiştir. AAT’nin atıksularında enterohemorragik / verotoksin üreten *Escherichia coli*, gastroenterite neden olan tüm viral ajanlar (sapovirüsler (Sapo) hariç), insan parekovirüs (HpeV) ve EPA’dan adenovirüsler ve dışkı parazitlerinden *Giardia lamblia* tespit edilmiştir. AAT çıkışında gastroenterite neden olan bakteriyel ajanlar, viral ajanlar, EPA ve dışkı parazitleri incelendiğinde 7’de sadece 1, 6’da 4, 3’te 2 ve 3’te 1 ajan pozitif (+) olarak tespit edilmiştir. Atık su arıtma tesisinin her bir ünitesinden alınan numunelerde SARS-CoV-2 tespit edilememiştir. Sonuç olarak, araştırma bulgularına göre, atık su arıtma tesisi atık sularında patojenlerle karşılaşıldığından, çevre ve insan sağlığını korumak için arıtma tesislerinde dezenfeksiyon sistemine sahip olmak ve patojenleri ve SARS-CoV-2’yi sürekli izlemek gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gastrointestinal, patojen, SARS-CoV-2, arıtma, virüsler, atıksu

### INTRODUCTION

The World Health Organization predicts that globally about 10% of diseases can be attributed to water quality and related hygienics issues (Prüss-Üstün et al., 2008). Furthermore, water pollution has resulted in deaths of 100 million human, 100,000 sea mammals, and 1 million seabirds per year according

to World Water Assessment Programme (2003-2016) and United Nations Education, Scientific, and Cultural Organization) (Kumar et al., 2018). The main source of pollution in water bodies is the discharge of wastewater (Xu et al., 2018). Wastewaters may contain various pollutants such as heavy metals (toxic pollutants that are non-biodegradable in the ecosystem and can accumulate in the food chain) and pathogens (Ahmad et al., 2015; Topal and Arslan Topal, 2017; Arslan Topal and Elitok, 2018) Effluents of wastewater treatment plants (WWTPs) are important for public health if they are given into the water bodies to be used for drinking, recreation or agricultural purposes. Because, urban wastewaters contribute to infectious diseases (Xiao et al., 2018). Among pollutants in wastewater, pathogens are a source of concern because of their ability to cause diseases (Arora and Kazmi, 2015) including lethal ones (e.g., reactive arthritis, diabetes, myocarditis, and cancers) (Ashbolt, 2004; Kumar et al., 2018).

The potential pathogens present in wastewater are enterovirus, bacteria, rotavirus, protozoa, and helminth eggs (Verlicchi and Zambello, 2015; Marin et al., 2015). In year 2019, novel coronavirus (SARS-CoV-2) was added to these pathogens. Viruses and microorganisms can cause the risk for human health, environmental pollution and economic impacts. Not adequately treated wastewater can lead to persistence of these viruses and microorganisms in the environment (Barrett et al., 2016). Furthermore, pathogenic microorganisms via aeration and mechanical mixing can be released to the atmosphere and can lead to potential health risks in workers of WWTP (Xu et al., 2018).

SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) causes COVID-19. The disease includes both pauci-symptomatic or asymptomatic forms and quickly progressive deadly forms (Vespa et al., 2021). Over 90 million cases are confirmed worldwide as of early January 2020 resulting in pandemic (Ballou and Haga, 2021). Before COVID-19 pandemic, published studies have proved that coronaviruses can be shed in the feces. Also in recent studies, viral RNA has been identified in samples of stool from infected patients (Vespa et al., 2021). Therefore, the system of wastewater represents viruses ending up there from feces, urine, sneezing, sputum, and coughing of patients (WHO, 2020; Hokajärvi et al., 2021).

In the literature, there are some different studies about COVID-19 in wastewaters. Hart and Halden (2020) studied the computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater based epidemiology locally and globally. Orive et al. (2020) studied early SARS-CoV-2 outbreak detection by sewage-based epidemiology. Olesen et al. (2021) reviewed the lead time of wastewater based epidemiology for COVID-19. Cao and Francis (2021) studied forecasting of the community-level COVID-19 cases from SARS-CoV-2 concentration in wastewater. Mandal et al. (2021) reviewed the presence, survival, and disinfection/removal methods of coronavirus in wastewater as well as the progress of wastewater based epidemiology. Pulicharla et al. (2021) reviewed the rethinking of wastewater monitoring as a preemptive approach for COVID-19 pandemic. Cervantes-Avilés et al. (2021) reviewed the approaches applied to detect SARS-CoV-2 in wastewater and perspectives post-COVID-19.

Enteric viruses resulting from human gastrointestinal tract can exist in fecal contaminated waters. Urban wastewaters have more than 100 viral species of enteric origin, and many of them can cause diseases in humans. Viruses causing waterborne diseases are noroviruses (NoVs) and human adenoviruses (HuAdV). NoV is an unencapsulated capsid and a small single-stranded RNA genome with small round-shaped viruses with a diameter of 38-40 nm (Dias et al., 2018). NoVs are one of the most important causes of gastroenteritis outbreaks among enteric viruses (Ito et al., 2017). NoV is major cause of diarrhoeal disease in adults. NoV is known to be causing epidemic situations, particularly in slum areas with densely populated (Teunis et al., 2008; Katukiza et al., 2013; Fuhrimann et al., 2016). Sima et al. (2011) reported NoV is present in stool during acute phase of the infection and persists for 3 weeks after symptoms have subsided (Dias ve diğ., 2018). Therefore, it is not surprising to encounter NoV in domestic wastewater. Dias et al. (2018) reported occurrence of NoV in domestic wastewater. HuAdV is a medium size (with a diameter of 90-100 nm) virus with envelope-free capsid and linear double-stranded DNA genome. HuAdV is found in the stool. For this reason, it is present in raw wastewater, WWTP effluent and water environments (Dias et al., 2018). HuAdVs are the most common pathogen associated with various clinical syndromes (e.g. conjunctivitis, gastroenteritis, and respiratory diseases (Swenson et

al., 2003). Outbreaks of HuAdV infections occur in swimming pools, hospitals, day care centers, and military areas (Jiang, 2006). Rotavirus is one of the leading causes of childhood diarrhoea (Katukiza et al., 2013; Sigei et al., 2015; Fuhrmann et al., 2016). *Campylobacter* spp. are zoonotic bacteria causing campylobacteriosis, with *Campylobacter jejuni* (*C. jejuni*) which is common cause of diarrhoea (Kaakoush et al., 2015). Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) is considered pathogenic. Serotype *E. coli* O157:H7 is responsible for largest public health impact (Okeke, 2009; Hynds et al., 2014). *Salmonella* spp. have more than two thousand sero-groups. However, *S. typhi* and *S. para-typhi* A, B and C, and the enteric salmonella strains are concern for health of human (Kariuki et al., 2015; Fuhrmann et al., 2016). Protozoan pathogens are found in water sources throughout the world (WHO, 2004). The parasitic protozoan diseases cause deaths in developing countries. Furthermore, protozoan pathogens cause important diseases in developed countries (Fletcher et al., 2012; Pultzer and Karanis, 2016). Protozoa are unicellular eukaryotic organisms including sporozoa (e.g., *Cryptosporidium*), flagellates (e.g., *Giardia*), amoebae (e.g., *Entamoeba*) and ciliates. *Giardia* and *Cryptosporidium* are well known waterborne protozoa causing outbreaks (Karanis et al., 2007; Baldursson and Karanis, 2011; Pultzer and Karanis, 2016) because they have high infectivity and resistance to disinfection and treatment of water (WHO, 2009; Xiao et al., 2018). In immunodeficiency human (e.g. human immunodeficiency virus infected human), the most prevalent worldwide waterborne infection producing diarrhea caused by *Cryptosporidium* and *Giardia* is more common and can threat life (Hunter and Nichols, 2002; Xiao et al., 2018). At least 8 different amoebae live in human intestinal lumen. However, they are usually accepted as commensals with exception of *E. histolytica* (Raza, 2013; Pultzer and Karanis, 2016).

This study is the first research article study investigating SARS-CoV-2 and gastrointestinal pathogens together. This study focuses on the SARS-CoV-2 and gastrointestinal pathogens (bacterial gastroenteritis, viral gastroenteritis, enteroviruses, human parechovirus, adenoviruses, stool parasites) in a MWWTP in Turkey. The following points are aimed in our study; (i) SARS-CoV-2, which has

affected the whole world, in different units of a MWWTP in Turkey was investigated. (ii) Gastrointestinal pathogens known to cause various epidemics at different times in the influent and effluent of the MWWTP were investigated. However, various studies have been done world-wide on the existence of SARS-CoV-2 in wastewater, this study is a specific study on the research on the existence of SARS-CoV-2 and gastrointestinal pathogens (Enterohemorrhagic/verotoxin-producing *Escherichia coli*, *Campylobacter coli/jejuni/lari* and IC, *Clostridium difficile*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., Enteroinvasive *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, Noroviruses (NoroG1), Noroviruses (NoroG2), Rotaviruses (Rota), Astroviruses (Astro), Adenoviruses (HAdV), Sapoviruses (Sapo), Enteroviruses, Human Parechovirus (HPeV), Adenoviruses, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*) in wastewater. Therefore, our study will contribute to the literature.

## MATERIAL AND METHODS

### Study Area and Sample Collection

In our study, municipal wastewater treatment plant was chosen as study area (Elazığ, Turkey) (Figure 1). MWWTP treats the wastewater of 383.975 people reaching the sewage treatment plant. MWWTP project flow is 820 and 1671 L/s for 2000 and 2020, respectively. MWWTP basically consists of a screen, grit removal, primary clarifier, aeration tanks and secondary clarifier, respectively. The wastewater treatment plant was revised in 2007 and operated in 2008 (Topal and Arslan Topal, 2011; Topal et al., 2014; Topal et al., 2016). The coordinates (UTM WGS84 6°) of WWTP influent and effluent points are as follows: Influent point = Y:529256, X:4271844 and effluent point = Y:529401, X:4271832. Magellan eXplorist 510 (Santa Clara, USA) was used to determine the coordinate values. Flow diagram of the MWWTP and sampling points were given in Figure 2.

Sampling points for SARS-CoV-2 analysis were carried out as follows; (1) Influent, (2) Inlet of primary clarifier unit (outlet of grid chamber unit), (3) Inlet of aeration tanks unit (outlet of primary clarifier unit), (4) Inlet of secondary clarifier unit (outlet of aeration tanks unit), (5) Effluent, and (6) Sludge thickening unit. Sampling points for gastrointestinal analysis were carried out as follows; (1) Influent and

Research article/Araştırma Makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.956919

(2) Effluent. Composite samples from influent and effluent of MWWTP were taken. Wastewater samples for analyses of SARS-CoV-2 and gastrointestinal were collected in 0.25 L tube (sterilized before use). The samples were brought to laboratory and prepared for analysis. Gastrointestinal pathogens were examined under 4 groups. These; (i) Bacterial agents causing gastroenteritis, (ii) Viral agents causing gastroenteritis, (iii) EPA, and (iv) Stool parasites. The gastrointestinal pathogens are summarized in Table 1.

### Analysis

Gastrointestinal pathogens and SARS-CoV-2 analysis were performed in the wastewater samples as follows;

The working stages of the gastrointestinal panel are as follows:

(i) Isolation stage: At this stage, DNA isolation is performed using the EZ1 device. In the gastrointestinal panel, 400  $\mu$ l wastewater is taken and transferred to a 2 mL tube for wastewater isolation. This tube is placed in the appropriate place in the device. For each sample to be isolated, mix is prepared using 54.2  $\mu$ l of AVE buffer, 3.8  $\mu$ l of CRNA, 2  $\mu$ l of internal control (IC) into separate 1.5 mL tubes. These tubes are thoroughly vortexed and spun. They are placed in the appropriate place in the device. Then, 1.5 mL tubes are placed in the section where DNA transfer will be made on the device, and EZ1 mini kit cartridges are placed in the appropriate section with pipettes and chambers. The isolation protocol is started. The isolation protocol takes 43 minutes.



Figure 1. Study area

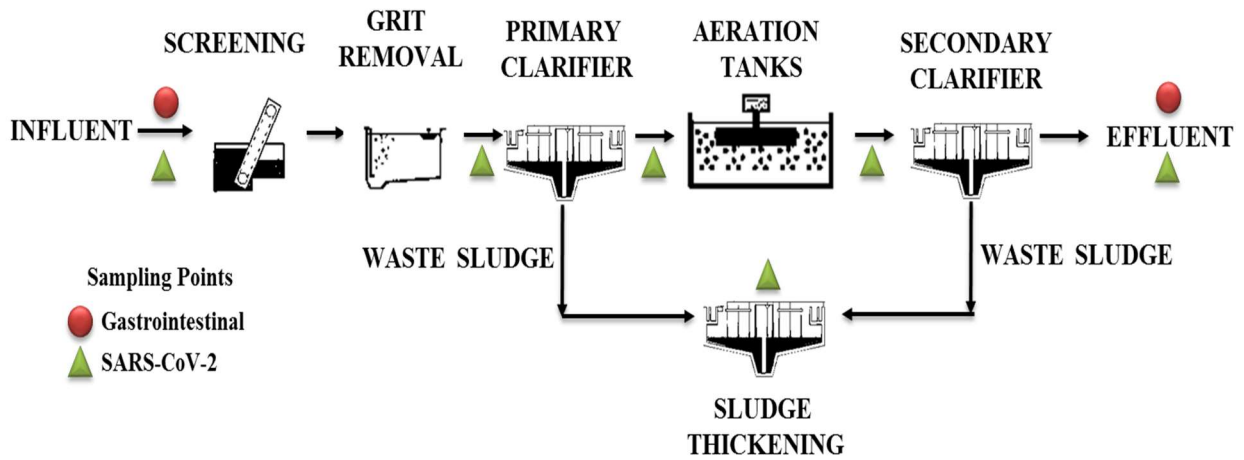


Figure 2. Flow diagram of the municipal wastewater treatment plant and sampling points

Table 1. The gastorintestinal pathogens

Gastrointestinal pathogens	
Bacterial gastroenteritis	Enterohemorrhagic/verotoxin-producing <i>Escherichia coli</i>
	<i>Campylobacter coli/jejuni/lari</i> and IC
	<i>Clostridium difficile</i>
	<i>Salmonella</i> spp.
	<i>Shigella</i> spp.
	Enteroinvasive <i>Escherichia coli</i>
Viral gastroenteritis	<i>Yersinia enterocolitica</i>
	Noroviruses (NoroG1)
	Noroviruses (NoroG2)
	Rotaviruses (Rota)
	Astroviruses (Astro)
	Adenoviruses (HAdV)
	Sapoviruses (Sapo)
EPA	Enteroviruses
	Human Parechovirus (HPeV)
	Adenoviruses
Stool parasites	<i>Entamoeba histolytica</i>
	<i>Giardia lamblia</i>
	<i>Cryptosporidium parvum</i>

(ii) PCR stage: Bacterial gastroenteritis, viral gastroenteritis, EPA and fecal parasite kit boxes are removed from -20°C. PPmix, buffer, negative control (NC), positive control (PC) are left to dissolve at room temperature. The enzyme is stored at -20°C until the PCR mix is prepared. The buffer solute, PP mix, NC, IC, and PC are vortexed, spined. The enzyme is then removed from -20°C and spined briefly. For each sample, the mix is prepared using 12.5 µl buffer, 1.5 µl PP mix, 1 µl enzyme. This mix is distributed to the numbered 0.2 mL PCR tubes in 15 µl each. Then 10 µl from the DNA of each sample into these 0.2 mL tubes each numbered for it is distributed. The PCR stage is started in the Fast Track Diagnostics multiplex PCR protocol in the ROTOR-GENE instrument. This protocol takes 113 min.

(iii) Analysis stage: Analysis is done through green, orange, yellow and red channels. For bacterial agents causing gastroenteritis; *E. coli* and *Clostridium difficile* (*C. difficile*) from green channel; *Shigella* and internal control from orange channel; *Campylobacter* and *Salmonella* from red channel; *Yersinia enterocolitica* (*Y. Enterocolitica*) from yellow channel. For viral agents causing gastroenteritis; Noroviruses G2, Astroviruses, and Sapoviruses from green channel; Rotavirus and internal control from yellow channel; Norovirus G1 and Adenovirus from red channel. For EPA; Enterovirus from green channel; Parechovirus from yellow channel; internal control from orange channel; Adenovirus from red channel. For fecal parasites; *Giardia lamblia* (*G. lamblia*) from red channel; *E. histolytica* from yellow channel; *Cryptosporidium* from orange channel. Factors located across these channels are looked at.

SARS-CoV-2 analysis was done by Reverse Transcription quantitative PCR (RT-qPCR). RT-qPCR was performed by RT-qPCR primers targeting the viral RNA-dependent RNA polymerase gene (RdRp) gene and the RT-qPCR probes SARS CoV-2 Double Gene RT-qPCR Kit (Bio-Speedy). SARS-CoV-2 Double Gene RT-qPCR kit (Bio-Speedy) is a single channel, real-time, one-step reverse transcription PCR test used for the qualitative detection of SARS-CoV-2 specific ORF1ab and N (Nucleocapsid) genes (URL, 1). The analysis of SARS-CoV-2 are briefly as follows: 400 µl were taken from the wastewater samples and loaded into the isolation device. 60 µl of RNA was obtained at the end of the isolation process. RNAs were kept in deep

freeze until PCR process. PCR mixes were prepared as much as the number of samples, negative controls and positive controls. For samples and controls, a total of 140 µl of 2X Prime solution and 70 µl of Oligo mix were added to an empty, screw-capped sterile tube of 2 ml and vortex-spin was performed. 15 µl of the prepared PCR mix was distributed to 0.2 ml PCR tubes. 5 µl of the isolated RNAs were added to the same tubes by pipetting. The tubes whose caps were closed were placed in the rotor pulleys and the related COVID-19 PCR protocol was opened on the device and the PCR process was started.

## RESULTS AND DISCUSSION

In our study, both gastrointestinal pathogens and SARS-CoV-2 are investigated in samples taken from different units of the MWWTP. Enterohemorrhagic/verotoxin-producing *E. coli*, *C. coli/jejuni/lari* and IC, *C. difficile*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., and *Yersinia enterocolitica* were determined as positive (+) in terms of bacterial agents causing gastroenteritis in samples taken from influent of MWWTP. However, Enteroinvasive *E. coli* was not observed in the influent of MWWTP. Therefore, a negative (-) result was obtained. When effluent of MWWTP were examined in terms of bacterial agents causing gastroenteritis, Enterohemorrhagic/verotoxin-producing *E. coli*, *C. difficile*, *Shigella* spp., *Salmonella* spp., *Y. enterocolitica* and Enteroinvasive *E. coli* were found to be negative (-). The reason why these bacterial agents causing gastroenteritis are negative in MWWTP effluent can be explained by their adherence to treatment sludge discharged from system at the wastewater treatment plant. *C. coli/jejuni/lari* and IC, which were positively (+) detected in the influent of MWWTP, were positively (+) detected in the effluent. The reason why *C. coli/jejuni/lari* and IC has a positive value in wastewater treatment plant effluent shows that treatment plant cannot eliminate these species. In addition, the absence of any disinfection system in treatment plant can explain this situation. When bacterial agents causing gastroenteritis were investigated in the effluent of MWWTP, only 1 agent out of 7 was detected as positive (+). When the influent of MWWTP were examined in terms of viral agents causing gastroenteritis, Noroviruses (NoroG1), Noroviruses (NoroG2), Rotaviruses (Rota), Astroviruses (Astro), and Adenoviruses (HADV) were determined as positive (+).

Sapoviruses was not found in the influent of MWWTP. Therefore, a negative (-) result was obtained. When the effluent of MWWTP were examined in terms of viral agents causing gastroenteritis, only Adenoviruses were detected as negative (-). Noroviruses (NoroG1), Noroviruses (NoroG2), Rotaviruses (Rota), and Astroviruses (Astro) were observed as positive (+). The reason why these viral gastroenteritis are positive shows that the wastewater treatment plant does not have a mechanism to remove viruses. In addition, the absence of a disinfection system of treatment plant increases possibility of viruses in effluent. When viral agents causing gastroenteritis were investigated in the effluent of MWWTP, only 4 agent out of 6 was detected as positive (+). Enteroviruses, Parechoviruses and Adenoviruses, which are other gastrointestinal pathogens and expressed as EPA, were investigated in the influent and effluent of the MWWTP. According to obtained analysis results, Enteroviruses, Parechoviruses, and Adenoviruses were found to be positive (+) in the influent of the MWWTP. When the effluent of MWWTP were examined in terms of EPA, enteroviruses was found as negative (-). When EPA was investigated in the effluent of MWWTP, only 2 agent out of 3 was detected as positive (+). When the influent of MWWTP were examined in terms of stool parasites, *G. lamblia*, *E. histolytica*, and *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*) were found to be positive (+). According to obtained analysis results, *E. histolytica* and *C. parvum* were determined as negative (-) in the effluent of MWWTP. When stool parasites were investigated in the effluent of MWWTP, only 1 agent out of 3 was detected as positive (+). One of the most important aims of this study was to research SARS-CoV-2 in MWWTP. For this purpose, wastewater samples were taken from every stage of MWWTP and SARS-CoV-2 analysis was performed. According to obtained analysis results, SARS-CoV-2 could not be detected in any unit of MWWTP. Hokajärvi et al. (2021) reported that persistency of non-enveloped viruses (e.g. norovirus, adenovirus, or enterovirus) is not necessarily higher than persistence of enveloped ones (e.g. SARS-CoV-2) in cold environmental conditions. In our study, we detected the occurrence of non-enveloped viruses in wastewater. Therefore, it is thought that SARS-CoV-2 can also be detected as well. The probable reasons are as follows: (i) Viruses previously investigated in

researches are most commonly non-enveloped ones. However, SARS-CoV-2 is an enveloped virus. Currently, protocols for testing of SARS-CoV-2 in samples of wastewater vary a lot. Since, aim is detection of virus at low concentrations in wastewater, efficiency of procedures employed for processing samples are critical (Medema et al., 2020a). Also, developing standardized, reliable virus quantification protocols are needed (Orive et al., 2020; Hokajärvi et al., 2021). In our study, the primer used in detection of SARS-CoV-2 in samples of wastewater probably was not successful in detection.

In further studies it was aimed the changing of the primer by addressing different genes for detection of SARS-CoV-2. (ii) Hokajärvi et al. (2021) reported that SARS-CoV-2 being an enveloped virus has higher affinity for attaching onto particulate matter of wastewater in comparison with non-enveloped ones. Therefore, it can be thought that SARS-CoV-2 attached to the solids in WWTP.

## CONCLUSION

In our study, bacterial and viral agents causing gastroenteritis, EPA, stool parasites, and SARS-CoV-2 in the MWWTP were investigated. In this context, important results were obtained in the study. When the effluents of MWWTP were examined in terms of gastrointestinal pathogens, *Campylobacter coli/jejuni/lari* and IC, Noroviruses (NoroG1), Noroviruses (NoroG2), Rotaviruses (Rota), Astroviruses (Astro), Parechoviruses and Adenoviruses, and *G. lamblia* were observed as positive (+). In addition, SARS-CoV-2 could not be detected in units of MWWTP. As a result, according to research findings, since pathogens are encountered in wastewater treatment plant effluents, it is necessary to have a disinfection system in the treatment plants and to monitor pathogens and SARS-CoV-2 continuously in order to protect environmental and human health.

## 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

- Acter, T., Uddin, N., Das, J., Akhter, A., Choudhury, T.R., Kim, S., 2020, Evolution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) as coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: A global health emergency, *Science of The Total Environment*, 730, 138996.
- Ahmad, A., Siddique, J. A., Laskar, M. A., Kumar, R., Mohd-Setapar, S. H., Khatoon, A., Shiekh, R. A., 2015. New generation Amberlite XAD resin for the removal of metal ions: a review. *Journal of Environmental Sciences*, 31:104-123.
- Arora, S., Kazmi, A.A., 2015, The effect of seasonal temperature on pathogen removal efficacy of vermifilter for wastewater treatment, *Water Research*, 74, 88-99
- Arslan Topal, E.I., 2018, Seasonal Monitoring of Cu and Zn in the Sewage Sludge of Malatya Advanced Biological Wastewater Treatment Plant, *Int. J. Pure Appl. Sci.* 4(1): 51-60.
- Ashbolt, N.J., 2004, Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions, *Toxicology*, 198(1-3), 229-238.
- Baldursson, S., Karanis, P., 2011, Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks - an update 2004–2010, *Water Res.*, 45, 6603-6614.
- Ballow, M., Haga, C.L., 2021, Why do some people develop serious COVID-19 disease after infection, while others only exhibit mild symptoms? *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, in press.
- Barrett, M. Fitzhenry, K. O'Flaherty, V. Dore, W. Keaveney, S. Cormican, M. Rowan, N. Clifford, E., 2016, Detection, fate and inactivation of pathogenic norovirus employing settlement and UV treatment in wastewater treatment facilities, *Science of The Total Environment*, 568, 1026-1036
- Cao, Y., Francis, R., 2021, On forecasting the community-level COVID-19 cases from the concentration of SARS-CoV-2 in wastewater, *Science of The Total Environment*, 786, 147451.
- Cervantes-Avilés, P., Moreno-Andrade, I., Carrillo-Reyes, J., 2021, Approaches applied to detect SARS-CoV-2 in wastewater and perspectives post-COVID-19, *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101947.
- Dias, E., Ebdon, J., Taylor, H., 2018, The application of bacteriophages as novel indicators of viral pathogens in wastewater treatment systems, *Water Research*, 129, 172-179
- Fletcher, S.M., Stark, D., Harkness, J., Ellis, J., 2012, Enteric protozoa in the developed world: a public health perspective, *Clin. Microbiol. Rev.*, 25, 420-449.
- Fuhrmann, S., Winkler, M.S., Stalder, M., Niwagaba, C.B., Nauta, M., 2016, Disease burden due to gastrointestinal pathogens in a wastewater system in Kampala, Uganda, *Microbial Risk Analysis*, 4, 16-28.
- Hart, O.E., Halden, R.U., 2020, Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: Feasibility, economy, opportunities and challenges, *Science of The Total Environment*, 730, 138875.
- Hokajärvi, A.-M., Rytönen, A., Tiwari, A., Kauppinen, A., Oikarinen, S., Lehto, K.-M., Kankaanpää, A., Gunnar, T., Al-Hello, H., Blomqvist, S., Miettinen, I.T., Savolainen-Kopra, C., Pitkänen, T., The detection and stability of the SARS-CoV-2 RNA biomarkers in wastewater influent in Helsinki, Finland, *Science of the Total Environment*, in press.
- Hunter, P.R., Nichols, G., 2002, Epidemiology and clinical features of *Cryptosporidium* infection in immunocompromised patients, *Clin. Microbiol. Rev.*, 15, 145-154
- Hynds, P.D., Gill, L.W., Misstear, B.D., 2014, A quantitative risk assessment of verotoxigenic *E. coli* (VTEC) in private groundwater sources in the Republic of Ireland, *Hum. Ecol. Risk Assess.*, 20, 1446-1468
- Ito, T., Kitajima, M., Kato, T., Ishii, S., Segawa, T., Okabe, S., Sano, D., 2017, Target virus log<sub>10</sub> reduction values determined for two reclaimed wastewater irrigation scenarios in Japan based on tolerable annual disease burden, *Water Research*, 125, 438-448.
- Jesse D. Contreras, Rafael Meza, Christina Siebe, Sandra Rodríguez-Dozal, Joseph N.S. Eisenberg, 2017, Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update, *Water Research*, 123, 834-850
- Kaakoush, N.O., Castaño-Rodríguez, N., Mitchell, H.M., Man, S.M., 2015, Global epidemiology of *Campylobacter* infection, *Clin. Microbiol. Rev.*, 28, 687-720
- Karanis, P., Kourenti, C., Smith, H., 2007, Waterborne transmission of protozoan parasites: a worldwide review of outbreaks and lessons learnt, *J. Water Health*, 5, 1-38.
- Kariuki, S., Gordon, M.A., Feasey, N., Parry, C.M., 2015, Antimicrobial resistance and management of invasive *Salmonella* disease, *Vaccine*, 33 (Suppl 3), C21-C29
- Katukiza, A.Y., Ronteltap, M., van der Steen, P., Foppen, J.W.A., Lens, P.N.L., 2013, Quantification of microbial risks to human health caused by waterborne viruses and bacteria in an urban slum, *J. Appl. Microbiol.*, 116, 447-463
- Kumar, P., Bansal, V., Kim, K.-H., Kwon, E.E., 2018, Metal-organic frameworks (MOFs) as futuristic options for wastewater treatment, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 62, 130-145.



Research article/Araştırma Makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.956919

- Liu, L., Johnson, H.L., Cousens, S., Perin, J., Scott, S., Lawn, J.E., Rudan, I., Campbell, H., Cibulskis, R., Li, M., Mathers, C., Black, R.E., 2012, Global, regional, and national causes of child mortality: an updated systematic analysis for 2010 with time trends since 2000, *Lancet*, 379, 2151-2161.
- Mandal, P., Gupta, A.K., Dubey, B.K., 2021, A review on presence, survival, disinfection/removal methods of coronavirus in wastewater and progress of wastewater-based epidemiology, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104317.
- Marín, I., Goñi, P., Lasheras, A.M., Ormad, M.P., 2015, Efficiency of a Spanish wastewater treatment plant for removal potentially pathogens: Characterization of bacteria and protozoa along water and sludge treatment lines, *Ecological Engineering*, 74, 28-32
- Okeke, I.N., 2009, Diarrheagenic *Escherichia coli* in sub-Saharan Africa: status, uncertainties and necessities, *J. Infect. Dev. Countries*, 3, 817-842
- Olesen, S.W., Imakaev, M., Duvall, C., 2021, Making waves: Defining the lead time of wastewater-based epidemiology for COVID-19, *Water Research*, 202, 117433.
- Orive, G., Lertxundi, U., Barcelo, D., 2020, Early SARS-CoV-2 outbreak detection by sewage-based epidemiology, *Science of The Total Environment*, 732, 139298.
- Pulicharla, R., Kaur, G., Brar, S.K., 2021, A year into the COVID-19 pandemic: Rethinking of wastewater monitoring as a preemptive approach, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106063.
- Prüss-Üstün, A., Bos, R., Gore, F., Bartram, J., 2008, Safer Water, Better Health: Costs, Benefits and Sustainability of Interventions to Protect and Promote Health, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Raza, A., 2013, Amoebiasis as a major risk to human health: a review, *Int. J. Mol. Med. Sci.*, 3, 13-24.
- Sigei, C., Odaga, J., Mvundura, M., Madrid, Y., Clark, A.D., 2015, Cost-effectiveness of rotavirus vaccination in Kenya and Uganda, *Vaccine*, 33 (Suppl 1), A109-18
- Sima, L.C., Schaeffer, J., Le Saux, J.C., Parnaudeau, S., Elimelech, M., Le Guyader, F.S., 2011, Calicivirus removal in a membrane bioreactor wastewater treatment plant, *Appl. Environ. Microbiol.*, 77 (15), 5170-5177
- Stanley, S.L., 2003, Amoebiasis, *Lancet*, 361 (2003), pp. 1025-1034, 10.1016/S0140-6736(03)12830-9 (London, England)
- Teunis, F.M., Moe, C.L., Liu, P., Miller, S.E., Lindesmith, L., Baric, R.S., Le Pendu, J., Calderon, R.L., 2008, Norwalk virus: how infectious is it?, *J. Med. Virol.*, 80, 1468-1476
- Topal, M., Arslan Topal, E.I., 2011. Evaluation of the Elazığ municipal wastewater treatment plant with some parameters in 2010-2011 Winter season *Cumhur. Sci. J.*, 32: 1-12.
- Topal, M., Uslu, G., Öbek, E., Arslan Topal, E.I., 2014. Evaluation of Elazığ municipal wastewater treatment plant with physicochemical parameters, *Eurasia 2014 Waste Management Symposium*, p.1169–1176, İstanbul, Turkey.
- Topal, M., Uslu, G., Öbek, E., Arslan Topal, E.I., 2016. Investigation of relationships between removals of tetracycline and degradation products and physicochemical parameters in municipal wastewater treatment plant, *Journal of Environmental Management*, 173:1-9.
- Topal, M., Arslan Topal, E.I., 2017. Determination of Concentrations of Lead and Nickel in Keban Dam Lake (Elazığ) within Water Framework Directive, *Int. J. Pure Appl. Sci.* 3(1): 41-53.
- URL, 1. <https://www.bioeksen.com.tr/sars-cov2-double-gene-rtqpcr-kit>
- Verlicchi, P., Zambello, E., 2015, Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil — A critical review, *Science of The Total Environment*, Volume 538, 750-767
- Vespa, E., Pugliese, N., Colapietro, F., Aghemo, A., 2021, STAY (GI) HEALTHY: COVID-19 and Gastrointestinal manifestations., *Techniques and Innovations in Gastrointestinal Endoscopy*, in press.
- WHO, 2004, Waterborne Zoonoses World Health Organization Titles with IWA Publishing Guidelines, W.Q., Bartram, J., n.d., Public Health.
- WHO, 2009, Risk Assessment of Cryptosporidium in Drinking Water, World Health Organization, Geneva (2009)
- WHO, 2020. Status of environmental surveillance for SARS-CoV-2 virus. Scientific brief, 5 August 2020. World Health Organisation. WHO/2019-nCoV/Sci\_Brief/EnvironmentalSampling/2020.1. Journal Pre-proof
- Xiao, S., Hu, S., Zhang, Y., Zhao, X., Pan, W., 2018, Influence of sewage treatment plant effluent discharge into multipurpose river on its water quality: A quantitative health risk assessment of Cryptosporidium and Giardia, *Environmental Pollution*, 233, 797-805
- Xu, G., Han, Y., Li, L., Liu, J., 2018, Characterization and source analysis of indoor/outdoor culturable airborne bacteria in a municipal wastewater treatment plant, *Journal of Environmental Sciences*, 74, 71-78.

## İstanbul Boğazı Geçisi Güvenlik Açığı: Olası Tanker Patlama Simülasyonu

Müge Ensari Özay<sup>1\*</sup>, Hasan Köten<sup>2</sup>, Emine Can<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye  
<sup>2</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye  
<sup>3</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye  
\*muge.ensariozay@uskudar.edu.tr<sup>ID</sup>, hasan.koten@medeniyet.edu.tr<sup>ID</sup>, emine.can@medeniyet.edu.tr<sup>ID</sup>  
Makale gönderme tarihi: 07.08.2021, Makale kabul tarihi: 22.11.2021

### Öz

Deniz kazaları araştırmaları, kazalarda teknik, insani, operasyonel ve organizasyonel olmak üzere pek çok risk faktörünün önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle kritik öneme sahip olan lokasyonlarda olan kazaların sonuçları ciddi hasarlara ve yıkıma neden olabilmektedir. Mevcut risk değerlendirmelerinde teknik güvenlik sistemlerine odaklanırken, patlama modellemesi çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın ana amacı, İstanbul Boğazından geçen ve sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) taşıyan tankerlerde olası bir tank patlaması ve yangın durumunda kazanın etki alanlarını incelemektir. Çalışmada açık erişim olan ALOHA yazılım programı kullanılarak 10,000 m<sup>3</sup>'lük LNG tankında BLEVE senaryosu analiz edilmiştir. Patlamanın yaklaşık 4.4 km'lik tehdit bölgesinde binaların tahrip olmasına, ciddi yaralanmalara ve camların kırılmasına neden olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca 2.0 km'lik tehdit bölgesinde 10.0 kW / m<sup>2</sup> termal radyasyon oluşacağı ve 60 saniye içinde potansiyel olarak ölümcül olacağı saptanmıştır. Olası patlama modellemesi sonucunda İstanbul Boğazında çok büyük bir felaket yaşanacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** ALOHA, deniz kazası, deniz ulaşımı, İstanbul Boğazı, LNG, patlama

## Transition Vulnerability in the Strait of Istanbul: Possible Tanker Explosion Simulation

### Abstract

Researches on maritime accidents show that many risk factors, including technical, human, operational and organizational, have important effects on accidents. The consequences of accidents, especially in critical locations, can cause critical damages and destructions. While focusing on technical safety systems in current risk assessments, explosion modeling studies has great importance. The main purpose of this study is to examine the impact area in the event of a possible tank explosion and fire in tankers carrying 10,000 m<sup>3</sup> liquefied natural gas (LNG) passing through the strait of Istanbul. In this study, the BLEVE scenario in the LNG tank was analyzed using the open access ALOHA software program. It has been determined that the explosion could cause the destruction of buildings, serious injuries and shattering windows in the threat area of approximately 4.4 km. Furthermore, it has been determined that 10.0 kW/m<sup>2</sup> of thermal radiation will occur in the 2.0 km threat zone and will be potentially lethal within 60 seconds. As a result of the possible explosion modeling, it is foreseen that there is a great disaster in the strait of Istanbul.

**Keywords:** ALOHA, Accident at sea, explosion, LNG, sea transportation, the strait of Istanbul

### GİRİŞ

Ülkemiz sınırları içerisinde bulunan boğazlar bölgesi Montreaux Boğazlar Sözleşmesi şartları kapsamında Türkiye'nin egemenliğinde uluslararası trafiğe açık su yolu olarak tanımlanmıştır. Montreaux Sözleşmesinin (1936) 2. maddesine göre barış zamanında, ticaret gemileri, gündüz ve gece, bayrak ve yük ne olursa olsun, hiçbir işlem olmaksızın, Boğazlardan geçiş ve gidiş-geliş (ulaşım) tam özgürlüğünden yararlanacaklardır, kılavuzluk ve

römorkörcülük isteğe bağlıdır. Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği'ne (2019) göre Türk Boğazlarından geçmek isteyen gemiler için Türk Boğazlarında Rapor Sistemi (TÜBRAP) ve gemiler tarafından doldurulması gereken raporlar, gemilerin uyması gereken kurallar, geçiş rotaları ve demirleme yerleri detaylı bir şekilde verilmiştir. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçen gemiler dünya ham petrol ticaretinin %3 ile %8'i oluşturmaktadır

(Küçükosman ve Bilgin, 2019). Boğazlarda oluşabilecek kazaları engellemek için 1994 ve 1998 yıllarında düzenlenen Boğazlar Geçiş Tüzükleri (TBDDT) ile boğaz geçişlerine can, mal ve seyir emniyetini sağlamak amacıyla bazı kısıtlamalar getirmiştir. Bu tüzüklerde boğazlarda trafik ayırım şemaları, boy ve tonaj kısıtlamaları, hız sınırlamaları ve seyir planlarının nasıl olması gerektiğinin yanında LNG ve Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) taşıyan gemilere römorkör ve kılavuz kaptan almak zorunlu hale getirilmiş ve LNG gemilerinin geçişi için direkt olarak idareden izin alınması zorunlu hale getirilmiştir (Küçükosman ve Bilgin, 2019). 2019 yılında İstanbul Boğazı'ndan 41 bin 112, Çanakkale Boğazı'ndan 43 bin 759 gemi geçtiği ve bu gemilerin 18,805'inin LNG, LPG, kimyasal ve ham petrol taşıyan tankerler olduğu bildirilmiştir (Ünal, 2020). İstanbul Boğazı'nda 2019 yılında toplam 15 gemi kazası yaşanırken, 141 gemi arızası meydana gelmiştir (Ünal, 2020). Denizcilik Federasyonu, İstanbul Boğazı'nın, dünyanın en riskli ve dar kanallarından bir tanesi olduğuna dikkat çekerek, LNG gemilerinin geçişlerine izin verilmemesini talep etmektedir (Yedi Deniz, 2015).

LNG çoğunlukla metandan oluşan kriyojenik bir sıvıdır. Buharlaştırdığında, yanıcılık aralığı hacimce yaklaşık %5 ile %15 arasındadır, yani bu konsantrasyon aralığında hava ile karışım yanıcıdır (Vanem, Antão, Østvik ve Comas, 2008). Bu nedenle, kriyojenik sıcaklıklarından kaynaklanan olası hasarlara ek olarak, LNG dökülmeleri havuz yangınları ve sürüklenen buhar bulutlarının tutuşması gibi tehlikelerle ilişkilendirilir. Sıvı haldeyken, LNG patlayıcı değildir ve LNG buharı, yalnızca yanıcılık aralığında ve kapalı veya yarı kapalı bir alanda hava ile karışım halinde tutuşturulduğunda patlayacaktır. Doğal gaz da boğulma tehlikesi de oluşturabilir. LNG toksik değildir ve deniz ortamına dökülürse kalıcı olmayacaktır. LNG sudan daha hafiftir, bu nedenle suya dökülen LNG yüzer. LNG kalıcı veya toksik olmadığı için bir LNG sızıntısı deniz suyu kalitesini etkilemez. Kaynama ve kriyojenik etkiler fiziksel etkilerdir ve kısa sürelidir. Deniz ortamına bir LNG salınımı, insanlar üzerinde doğrudan etkilere neden olma potansiyeline sahiptir. LNG,  $-161^{\circ}\text{C}$ 'de kriyojenik bir sıvı olduğundan, aşırı düşük sıcaklık, bir kişi etkilenen bölge içinde suda kalırsa, temas halinde ciddi donmaya neden olabilir. Bu etki, LNG buharlaşana kadar, genellikle 10 dakikadan az sürecektir. LNG su ile temas ettiğinde suyun donması

olası değildir. Aksine, LNG su yüzeyinde yüzerken, su LNG'yi ısıtarak buharlaşmasına ve yayılan bir bulut oluşturmaya neden olur. Kriyojenik etkiler, soğuk LNG buharıyla değil, LNG ile doğrudan temasta sınırlıdır. Bu, havuzlanmış LNG'nin hemen yakınında bulunan kişilerin boğulmasına yol açabilecek hava/su arayüzünde yüksek metan seviyeleri yaratacaktır. Bir tutuşturma kaynağı mevcutsa ve LNG buharı yanarsa, termal radyasyon ölümüyle sonuçlanacaktır. Kapalı alanlardaki LNG salınımları, oksijen eksikliği olan veya patlayıcı ortamlar oluşturarak çalışanlar için güvenlik riski oluşturabilir. LNG endüstrisinin güvenlik kaydı, insan sağlığı ve güvenliği üzerindeki potansiyel etkiler göz önüne alındığında, önemli boyutta bir LNG salınımı olasılığı son derece düşük olsa da LNG'nin katastrofik bir sızıntısından kaynaklanan, meydana gelmesi muhtemel olmasa da önemli olarak kabul edilir. Sıvılaştırılmış formda, LNG'nin hacmi oda sıcaklığında aynı miktardaki doğalgaza göre 600 kat daha azdır. Bu nedenle LNG nakliyesi, büyük miktarlarda doğal gazın uzun mesafelerde taşınmasının ekonomik bir yoludur. LNG, normal atmosfer basıncında taşınır ve depolanır ve LNG taşıyıcıları, LNG'yi denizde taşımak için amaca yönelik olarak inşa edilmiş tank gemileridir (Vanem ve ark., 2008). ABD Federal Yönetmeliklerinden 33 CFR 165.1709'da (2020) sıvı doğal gaz tankerlerinin transit seyirleri ve operasyonları sırasında çevresinde oluşturulan, güvenlik alanları ve uyulması gereken kurallar detayları açıkça verilmiştir. Amerika Ulusal Yangından Korunma Kurumunun NFPA 59A (2019) standardında, sıvılaştırılmış doğal gaz tesislerinin yeri, tasarımı, yapımı, güvenliği, işletimi ve bakımı için minimum yangından korunma, güvenlik ve ilgili gereksinimleri belirlenmiştir. NFPA 59A standardı LNG üreten, depolayan ve işleyen tesislerin yerleşimi, tasarımı, inşaatı, bakımı ve işletilmesi ve LNG ile ilgili personelin eğitimi için geçerli olarak LNG araçlarının yakıt ikmali dâhil tüm LNG araç uygulamaları için geçerli değildir.

LNG dağılım modelleri, yoğun gaz bulutunun dağılımına odaklanır. Genel olarak, yoğun gaz dağılım modelleri, korelasyonlar, integral modeller, sıg katman modelleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modelleri şeklinde kategorilere ayrılabilir (Wang, Liu, Qian ve Huang, 2017). Korelasyon dağılım modelleri deneysel modellerdir ve BrittereMcQuaid modeli, Gaussian modeli ve momentum ile enerjinin korunumuna dayanan

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.980054

modifiye edilmiş Gauss dağılım modelinin çeşitli formları korelasyon modellerine örnek verilebilir. Bu modellemeler, engellerin etrafındaki veya karmaşık arazi üzerindeki akışı modelleyemez (Siuta, Markowski ve Mannan, 2013). Öte yandan, PHAST (Süreç, Tehlike, Analiz, Yazılım Aracı - Process, Hazard, Analysis, Software Tool), ALOHA (Tehlikeli Atmosferlerin Alansal Konumları - Areal Locations of Hazardous Atmospheres) ve FLACS (Alev Hızlandırma Yazılımı - Flame Acceleration Software) gibi integral modeller, korelasyon modellerinden çok daha karmaşıktır. Temel diferansiyel denklemlerin çözümlerini içerirler fakat karmaşık geometrinin etkilerini tahmin edemezler. LNG dağılım modelleri arasında Navier-Stokes akışkanlar denklemlerini kullanarak LNG'nin dağılımını tanımlayan CFX, FLACS, FLOW-3d gibi CFD modelleri mevcuttur.

PHAST, ALOHA ve FLACS gibi yazılım programları kullanılarak yangın, patlama ve toksik dağılımın sonuçlarını modelleyen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. (Dadashzadeh, Khan, Hawboldt ve Amyotte, 2013; Hasani ve Nader, 2016; Inanloo ve Tansel, 2015; Zareei, Nikou ve Shariati, 2016; Dasgotra, Varun Teja, Sharma ve Mishra, 2018; Özay, Keskin ve Uçan, 2020). Özay ve arkadaşları (2021) çalışmalarında endüstriyel tipte biogas tesisinde olabilecek metan patlamasını PHAST ve ALOHA programlarını karşılaştırmışlardır. Tseng ve arkadaşları (2012), Tayvan'daki üç farklı üretim tesisinde toksik kimyasal (klor, epiklorohidrin ve fosgen) salınım etkisinin ölçeklerini gösteren tehdit bölgelerini ALOHA yazılımı ile belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada Çetinyokuş (2017), yanıcı madde (metan), zehirli sıvı (etilen diamin) ve zehirli gaz (metil klorür) olarak üç tehlikeli kimyasalın sonuç analizini ALOHA yazılımı ile incelemiş ve farklı atmosferik şartlarda, özellikle rüzgâr hızı, kararlılık sınıfı, seçilen üç tehlikeli kimyasal için tehdit bölgeleri içindeki etki mesafelerini bulmuştur. Ayrıca, Trávníček ve araştırma arkadaşları (2018), tarımsal biyogaz tesislerindeki alev yığınlarını ALOHA yazılımı ile incelemiş ve metan gazının zemin seviyesinden daha yüksek seviyelerde daha hızlı seyreltileceğini bildirmişlerdir.

BLEVE (Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlaması) en yıkıcı büyük tehlikelerden biri olarak kabul edilir ve özellikle LPG için kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır. BLEVE tehlikesi geçmişte LNG depolanması için güvenilir bir olay olarak

görülmemiştir. Bunun başlıca nedeni, LNG'nin genellikle atmosferik basınçta veya yakınında kriyojenik sıcaklıklarda depolanmasıdır (Pitblado, 2007). Son yıllarda kamyonlar ve feribotlar gibi ticari araçlar için LNG gibi daha temiz ve daha verimli yakıtların kullanılması yönünde bir eğilim olmuştur. Ticari kullanımda olan veya tasarım aşamasında olan bu sistemlerin çoğu, doğal kaynamayı azaltmak ve bazı işlemlerde LNG ürününün pompalanmasına yardımcı olmak için basınç altındadır.

LNG tanklarında BLEVE patlama potansiyelinin, özellikle vakum yalıtımlı çift cidarlı basınçlı bir kabın patlamasının inandırıcı bir senaryo olup olmadığı birçok tartışmanın konusu olmuştur (Betteridge ve Phillips, 2015). Şimdiye kadar endüstri, bu gemilerin mekanik darbe veya alev çarpması yoluyla muhafazasının kaybının inandırıcı olmadığını kanıtlamayı zor bulmuştur (Muhammed 2014). Ayrı ayrı, tek cidarlı LNG tanker kamyonlarının dâhil olduğu iki BLEVE olayı İspanya'da rapor edilmiştir (Planas-Cuchi, Gasull, Ventosa ve Casal, 2004; Martinez, Perez ve Ayala 2011). Çift cidarlı LNG gemilerinin arızasının inandırıcılığı tartışılrsa da, potansiyel bir LNG BLEVE tehlikeleri tahmin edebilmek için bir gereklilik vardır. Güvenli çalışmayı sürdürmek için tehlikeli senaryoları belirlemek önemlidir. Bu nedenle, çalışmanın amacı, son derece kritik bir öneme sahip olan İstanbul Boğazı'ndan geçen LNG taşıyan tankerlerde olası bir tank patlaması ve BLEVE senaryosu durumunda kazanın etki alanlarını ALOHA yazılım programı kullanarak incelemektir.

## MATERYAL VE METOT

### ALOHA yazılımı

Bu makale çalışmasında İstanbul Boğazında olası bir LNG tankı taşıyan tanker kazası sonucu, oluşabilecek patlamanın etkilerini modellemek için ALOHA yazılımı kullanılmış ve patlama senaryosu oluşturulmuştur. ALOHA, tehlikeli kimyasal gazların hareketini ve dağılımını tahmin etmek, gazların tanklardan veya gaz borularından sızan ve buharlaşan kimyasal salınımlarını ve tehlikeli gaz bulutu dağılımından atmosfere yayılma oranlarını ve etki alanlarını modellemek için kullanılan bir bilgisayar programıdır (EPA, 2017). ALOHA ayrıca, tehlikeli bir gaz bulutunun dağılımını tahmin etmek için salınan kimyasalın fiziksel özelliklerini ve salınım senaryosunun gerçek zamanlı koşullarını kullanarak yanıcı bir gazın patlayabileceği alanı tahmin etmek

için de kullanılabilir. ALOHA yazılımında, meteorolojik koşullar, kırsal ve kentsel alanlar gibi parametreler seçilerek kimyasal maddenin patlama ve atmosferik salınım sonuçları değerlendirilebilir. ALOHA'da hesaplanan grafik çıktılar ile MARPLOT yazılımı beraber kullanılarak haritalar üzerinde tesisin gerçek konumu ve etki alanları belirlenebilir (EPA, 2017). MARPLOT programı kimyasal acil durumları planlamak ve bunlara müdahale etmek için kullanılan coğrafi bilgi sistemleri arayüzlü bir haritalama programıdır.

ALOHA direkt, sıvı birikintisi, tank veya boru gibi kaynak seçenekleri sunar. Sıvı birikintisi seçeneği, sabit yarıçaplı bir sıvı birikintisi olduğunda seçilebilir. Sıvı, normal buharlaşan bir sıvı veya kaynayan bir sıvı olabilir. Tank seçeneği, kaynak yatay veya dikey bir silindir veya zemin seviyesinde tek delikli küresel bir tank olarak seçilebilir. Tank başlangıçta bir gaz, bir sıvı veya sıvılaştırılmış bir gaz içerebilir. İçerik, sıcaklık ve / veya basınç değişikliklerinin bir sonucu olarak faz değiştirebilir. Kaynak, zemin seviyesinde tek delikli basınçlı gaz içeren bir boru olduğunda boru seçeneği seçilebilir.

**Tablo 1. ALOHA Programının Verileri**

Parametreler	ALOHA Verileri
Yerel Bilgiler	Türkiye, İstanbul
Kimyasal madde	Metan
CAS Numarası	74-82-8
PAC değerleri	PAC-1: 65,000 ppm PAC-2: 230,000 ppm PAC-3: 400,000 ppm
Alt patlama sınırı	LEL: 50,000 ppm
Üst patlama sınırı	UEL: 150,000 ppm
Tank tipi	Küresel
Tank çapı	26.7m
Tank Hacmi	10000 m <sup>3</sup> (100% full)
Zemin Pürüzlülüğü	Açık su
Ölçüm yüksekliği	3m
Ortam sıcaklığı	25°C 39.6 °C (En Yüksek)* -5.1 °C (En Düşük)*
Nem	%50
Tank içindeki sıcaklık	-162

\* İstanbul Yıllık Hava Sıcaklığı Ölçüm Periyodu (1929 - 2020) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Kaynak doğrudan bir nokta salımı ve sürekli bir hız emisyonu veya toplam kütle anlık salınımı olarak seçilebilir. Anlık veya sürekli olarak doğrudan salım tipi için, toplam kütle, kütle akış hızı ve kaynak yüksekliği veri olarak sağlanmalıdır (Bhattacharya ve Kumar, 2015).

Ancak, yazılımın bazı sınırlamaları vardır. Sınırlamalardan biri; program kimyasal bileşiğin hızlı bir işlem olarak hava ile karıştırıldığını varsayar. Diğer sınırlama; nihai ürünleri, yani duman, partikül madde ve radyoaktif partikülleri tespit etme kabiliyeti yoktur. Bir başka sınırlama ise simülasyon çalışması sırasında rüzgar hızının ve rüzgar yönünün sabit olduğunun varsayılmasıdır (Yadav, Chaudhary ve Yadav, 2020).

### Senaryolar

Bu çalışmanın senaryosu İstanbul Boğazında Boğaz köprüsünün altından geçen bir LNG gemisinde LNG tankında BLEVE patlaması olasıdır. Beaufort (Bofor) rüzgâr skalasına göre hafif rüzgârın en üst sınırı olan 10 knots rüzgâr hızı olarak seçilmiştir. Rüzgâr yönü seçiminde İstanbul Boğazı'nda en sık görülen yön (İnan, 1994) olan kuzeydoğu (NE) yönü seçilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (2021) İstanbul ilinde yıllık hava sıcaklığı verilerine göre en yüksek ve en düşük sıcaklıklar alınarak meteorolojik şartlara göre 3 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryo 1'de T= 25°C, orta bulutlu ve nem=%50; Senaryo 2'de T=39.6°C, bulutsuz ve nem=%5; Senaryo 3'de T=-5.1oC, tamamen bulutlu ve

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.980054

nem=%99 seçilmiştir. Tablo 1’de ALOHA programına girilen veriler verilmiştir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

ALOHA programı kullanılarak LNG taşıyan küresel tankta bir BLEVE patlaması sonucu oluşacak alev topunun 938 metre çapında ateş topu oluşacağını ve 41 saniye süre (Tablo 2) ile yanacağını hesaplanmıştır.

Tablo 3’de 10,000 m<sup>3</sup>’lük bir LNG tankında oluşan BLEVE patlamasının oluşturacağı meteorolojik şartları farklı 3 ayrı senaryo için termal radyasyon miktarlarına göre etki alanları ve etki alanı verilmiştir. Şekil 1’de MARLOT versiyon 5.1.1 bilgisayar programı ile ölçeklendirilerek küçültülmüş İstanbul haritası üzerinde Senaryo 1’in etki alanları gösterilmiştir. Kırmızı ile gösterilen 2.0 kilometrelik bölgede 10.0 kW/m<sup>2</sup>’lik termal radyasyon oluşacağı ve bu bölgenin 60 saniye içinde potansiyel olarak ölümcül olacağı hesaplanmıştır. Turuncu ile gösterilen 2.8 kilometrelik bölgede 5.0 kW/m<sup>2</sup>’lik termal radyasyon oluşacağı ve bu bölgede bulunanlarda 2. derece yanıklar oluşacağı öngörülmektedir. Sarı ile gösterilen 4.4 kilometrelik bölgede 2.0 kW/m<sup>2</sup>’lik termal radyasyon oluşacağı ve bu bölgede bulunan insanların ağır duyacakları ve binaların camlarının kırılması beklenmektedir.

Senaryo 1, senaryo 2 ve senaryo 3 karşılaştırıldığında en yüksek etki alanının yaz

aylarında yüksek sıcaklık 39.6°C, bulutsuz ve nemsiz meteorolojik şartlarda olduğu görülmektedir. En düşük etki alanının ise senaryo 1’de 25°C’de, orta bulutlu ve orta nem seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Değişik rüzgâr yön ve hızlarında da farklı senaryolar denenmiş ama sonuçlarda değişiklik görülmediği için ayrı senaryo oluşturulmamıştır ama oluşturması beklenmektedir. Patlama alanını daha detaylı modelleyen alternatif programlarda rüzgâr hızının da sonuçlarda farklılık yaratacağı düşünülmektedir.

Tüm LNG taşıyıcı türleri çift cidarlı gemilerdir, ancak bağımsız veya entegre kargo tanklarından oluşan farklı kargo muhafaza sistemleri mevcuttur. Mevcut LNG filolarında membranlı tank tasarımları ve küresel tank tasarımları olmak üzere iki ana tip gemi tasarımı (Şekil 2) hâkimdir (Vanem ve ark., 2008). Membranlı tank tasarımlarında, kargo muhafaza sistemi, gemi gövdesi tarafından yapısal olarak desteklenen çok ince bir invar veya paslanmaz çelik çift cidarlı, yalıtımlı kargo zarfından oluşur. Moss tankerleri olarak da adlandırılan küresel tank taşıyıcıları, geminin gövdesi içinde kendi kendini taşıyan küresel alüminyum tanklara veya prizmatik şekilli paslanmaz çelik tanklara sahiptir. Bu tanklar dışarıdan izole edilmiştir. Her iki tanker alternatifi de LNG’yi uzun mesafelerde taşımak için -162 °C civarındaki sıcaklıklarda depolanan sofistike sistemlerle tasarlanmış, inşa edilmiş ve donatılmıştır.

**Tablo 2.** Küresel tankta yanıcı sıvı, BLEVE patlaması

Parametreler	Veriler
Rüzgâr hızı, yönü	10 knots, NE (Kuzeydoğu)
Kararlılık Sınıfı	E
Ateş Topundaki Tank Kütlesi Yüzdesi	% 100
Ateş Topu Çapı	938 metre
Yanma Süresi	41 saniye

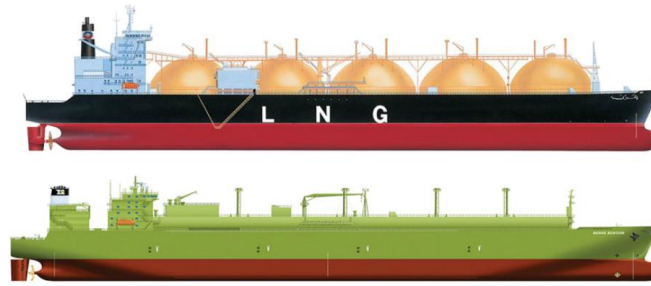
**Tablo 3.** Tehdit Modellemesi: Ateş topundan gelen termal radyasyon

Tehlike Bölgesi Renk kodu	Etki alanı (Senaryo 1)	Etki alanı (Senaryo 2)	Etki alanı (Senaryo 3)	Termal Radyasyon miktarı	Potansiyel Etki
Kırmızı	2.0 km	2.2 km	2.2 km	10.0 kW/m <sup>2</sup>	60 saniye içinde potansiyel olarak ölümcül
Turuncu	2.8 km	3.2 km	3.0 km	5.0 kW/m <sup>2</sup>	60 saniye içinde 2. derece yanıklar
Sarı	4.4 km	4.8 km	4.7 km	2.0 kW/m <sup>2</sup>	60 saniye içinde ağır

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.980054



Şekil 1. Tehdit Modellemesi: Ateş topundan oluşan termal radyasyon (Senaryo 1)



Şekil 2. Ana LNG taşıyıcı türleri: küresel yosun tankerleri (üstte) ve membran tankerleri (altta) (Vanem ve ark., 2008).

İlk LNG kargosunun 1959 yılında bir LNG tankeri ile taşınmasından bu yana LNG'nin deniz taşımacılığı kademeli olarak artmıştır. LNG taşımacılığının tarihçesi üzerine bir literatür araştırması, 6000 GRT'den büyük LNG taşıyıcılarının dahil olduğu 158 bilinen ilgili kazayı bildirmiştir (Østvik, Vanem ve Castello, 2005). Bu kazalara göre LNG nakliye tarihi boyunca küresel tip LNG gemilerinde kazaların daha sık meydana geldiğini, ancak son 20 yılda membranlı gemilerde kazaların daha sık olduğunu göstermektedir. Tüm LNG taşıyıcı türleri için kazaların meydana geldiği belirtilmektedir (Vanem ve ark., 2008). Çoğunlukla LNG endüstrisinde mevcut olan bir sorun, kara veya açık deniz tesislerinde yeniden gazlaştırma ünitesindeki kritik depolama tankı bileşenidir (Mulyana, Muhammad, Saad, Mariah ve Riveli, 2017). Çoğunlukla aşırı basınç, korozyona bağlı arıza, malzeme bozulması, metal yüzeydeki gerilim, destek cihazındaki arıza, yani kontrol vanası, basınç emniyet

valfi, pompa ve kompresördeki arıza ve diğer arızaların bir veya kombinasyonundan kaynaklanan arızalar kazaya neden olmaktadır (Mulyana ve ark., 2017). Bu arızalar, depolama tankında BLEVE ve yangına neden olabilmektedir. LNG depolama tankında meydana gelebilecek BLEVE ve yangınlar, aksam ve ekipman sisteminin emniyet güvenilirliğinin yanı sıra sabotaj veya başka sebeplerden kaynaklanan bir gemi kazası nedeni ile olabilir.

Hightower ve arkadaşları (2004) çalışmalarında su üzerine bir LNG sızıntısı nedeniyle kamu güvenliğine ve mülküne yönelik tehditleri, tehlikeleri, sonuçları ve riskleri analiz ederek, dört LNG sızıntı çalışmasını modelleyerek incelemişlerdir. Sonuçlar varsayımlardaki farklılıklar nedeniyle geniş bir sonuç yelpazesi göstermiştir. Çalışmada çarpışmalar ve karaya oturma gibi kazara LNG sızıntılarından kaynaklanan risklerin mevcut güvenlik politikaları ve kapsamlı, risk temelli

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.980054

yönetim ve planlama uygulamalarıyla yönetilebilir sonucuna varılmıştır. Bunun yanısıra, yangınlardan kaynaklanan termal tehlikeler nedeniyle, yaklaşık 1600 m'den yakın mesafelerde halk sağlığı ve güvenliği etkileri olabileceğini belirtmişlerdir (Hightower ve ark., 2004). Büyük, tutuşmamış LNG buharı salınımı olası olmasada, buhar bulutları bir sızıntıdan 2500 m'ye kadar uzayabileceğini bildirmişlerdir (Hightower ve ark., 2004). Gerçek tehlike mesafeleri, ihlal ve dökülme boyutuna, sahaya özgü koşullara ve çevresel koşullara bağlı olacaktır.

Çalışmanın verileri incelendiğinde, İstanbul Boğazı gibi stratejik önem taşıyan bir bölgede böyle bir tanker kazasını hem insan sağlığı, hem çevre kirliliği hem de ulusal güvenlik açısından çok ciddi sonuçları olacağı aşikardır.

## SONUÇLAR

Sonuç olarak LNG gemileri ve tankları patlama ve yangın risklerine karşı oldukça emniyetli üretilselerde, olası bir patlamanın İstanbul Boğazında çok büyük bir yıkıma yol açacağı görülmektedir. Bu çalışmada 10,000 m<sup>3</sup>'lük bir LNG tankında BLEVE patlaması modellenmiştir ki şu an aktif olarak yük taşıyan LNG gemileri birden fazla tank içermektedir. Bu sonuç patlamanın etkilerinin ve etki alanının çok daha olacağını göstermektedir. Mevcut LNG filonun ortalama boyutu yaklaşık 120,000 m<sup>3</sup> iken, yakın gelecekte 200,000–250,000 m<sup>3</sup> kapasiteli LNG süper-tankerinin kullanılacağı öngörülmektedir. Mevcut durumda İstanbul Boğazından geçen tankerlerin taşıdığı tehlikeli madde yüzünden patlama riski, İstanbul Boğazında çok büyük bir felakete yol açabilir. Bu durumda gemi geçişlerinin kontrollü yapılması, kılavuzsuz hiçbir geminin geçmemesi, gemilerde risk değerlendirmelerinin sıklıkla kontrol edilmesi ve riskli görülen durumlar için önceden önlem alınması önerilmektedir.

ALOHA programı gerçeğe yakın patlama modellemesi yapmakla beraber, programın pek çok kısıtlaması vardır. Bu çalışma bir ön çalışma niteliğinde olup daha sonraki aşamada daha gerçekçi sonuçlar vermesi için reel verilerle farklı modelleme yöntemi kullanılması tavsiye edilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda PHAST programı kullanılarak, birden çok tankın domino etkisi ile patlama analizinin yapılması tavsiye edilir. Domino etkisi ile yapılacak modellemenin etki alanının çok daha fazla olacağı ve çok daha büyük bir yıkıma ve çevre felaketine yol açacağı tahmin edilebilir. Teknik olarak makina öğrenmesi ve yapay zeka uygulamaları

kullanılarak tehlike durumlarını önceden haber veren bir sistemin kurulması olası patlama olasılıklarının belirlenmesinde ve İstanbul Boğazı geçişi güvenlik açığının önlenmesinde faydalı olacaktır. Çalışmanın deniz emniyeti, deniz kazaları konusunda çalışan araştırmacılar, denizcilik sektörü, deniz taşımacılık ve sigorta şirketleri için faydalı olmasını ve patlama modellemesi olarak literatüre katkı sağlayacağını temenni ederiz.

## 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

- 33 CFR 165.1709, (2020). Security Zones: Liquefied Natural Gas Tanker Transits and Operations at Phillips Petroleum LNG Pier, Cook Inlet, AK. <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/33/165.1709>
- Betteridge, S. ve Phillips, L. (2015). Large scale pressurised LNG BLEVE experiments. Symposium Series No 160.
- Bhattacharya, R. ve Kumar, G.V. (2015). Consequence analysis for simulation of hazardous chemicals release using ALOHA software. International Journal of ChemTech Research, 8(4), 2038-2046.
- Martinez, B.J.M., Perez, B.J. ve Ayala, M.J.A. (2011). Analysis of the explosion of a liquefied-natural-gas road-tanker. Seguridad y Medio Ambiente, 32, N127.
- Çetinyokuş, S. (2017). Sonuç analizi ile belirlenen etki mesafeleri üzerine atmosferik seçimlerin etkisi (ALOHA yazılımı). Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 209-217. DOI: <https://doi.org/10.5578/fmbd.52776>
- Dadashzadeh, M., Khan, F., Hawboldt, K. ve Amyotte, P. (2013). An integrated approach for fire and explosion consequence modelling. Fire Safety Journal, 61, 324–337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.015>
- Dasgotra, A., Varun Teja, G.V.V., Sharma, A. ve Mishra, K.B. (2018). CFD modelling of large-scale flammable cloud dispersion using FLACS. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 56, 531–536. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.01.001>
- EPA. (2017). ALOHA Software. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
- Hasani F. ve Nader N. (2016). Consequence modelling and analysis of gas export compression unit using PHAST software. International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 7 (5), 1344-1349.



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.980054

- Hightower, M., Gritz, L., Luketa-hanlin, A., Covan, J., Tieszen, S., Irwin, M., Kaneshige, M., Melof, B., Morrow, C., & Ragland, D. (2004). Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water. Sandia Report, SAND2004-6258, 167. <https://doi.org/10.2172/882343>
- Inanloo, B. ve Tansel, B. (2015). Explosion impacts during transport of hazardous cargo: GIS-based characterization of overpressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia. *Journal of Environmental Management*, 156, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.044>
- İnan, M. (1994). İstanbul Boğazı Kuzeyinin Hakim Rüzgar Yönleri Ve Dalga Yüksekliklerinin Etüdü. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Klimatoloji ve Meteoroloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Küçükosman, B. ve Bilgin, G. (2019). Türk Boğazları ve Dünya Ham Petrol Ticareti: 2015-2018 Yılları Arasında Türkiye'den Geçen Ham Petrol Miktarı Analizi ve Petrol Piyasası Üzerine Olası Etkileri. Bilkent Enerji Notları, BEN 8. Erişim adresi: <https://www.bilkentepc.com/bilkentenergynotes>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2021). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL>
- Montreaux Sözleşmesi, (1936). <https://www.kiyemniyeti.gov.tr/userfiles/file/mevzuat/Montreaux%20Bo%20C4%9Fazlar%20S%20C3%B6z%20e%20C5%9Fmesi.pdf>
- Mulyana, C., Muhammad, F., Saad, A. H., Mariah ve Riveli, N. (2017). Failure analysis of storage tank component in LNG regasification unit using fault tree analysis method (FTA). *AIP Conference Proceedings*, 1827. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1063/1.4979430>
- NFPA 59A, (2019). Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). [https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/detail?code=59A](https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=59A)
- Østvik, I., Vanem, E. ve Castello, F. (2005). HAZID for LNG tankers. SAFEDOR report D.4.3.1.
- Özay M.E., Güzel P. ve Can E. (2021). Consequence Modelling and Analysis of Methane Explosions: A preliminary Study on Biogas Stations. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 6(1), 132-144. doi.org/10.28979/jarnas.890649
- Özay M.E., Keskin U. ve Uçan R. (2020). Doğalgaz Kazanında Metan Gazı Patlaması İçin Katastrofik Yırtılma ve Sızıntı Senaryolarının Phast Modelleme Programı ile Değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Hazar Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 230-243.
- Pitblado, R.M. (2007). Potential for BLEVE associated with marine LNG vessel fires. *Journal of Hazardous Materials*, 140, 527-534.
- Planas-Cuchi, E., Gasull, N., Ventosa, A. ve Casal, J. (2004). Explosion of a road tanker containing liquefied natural gas. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, 17, 315-321.
- Siuta, D. Markowski, A.S. ve Mannan, M.S. (2013). Uncertainty Techniques in Liquefied Natural Gas (LNG) Dispersion Calculations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(3), 418-426. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.07.020>
- Trávníček, P., Kotek, L., Nejtěk V., Koutný T., Junga P. ve Vítěz T. (2018). Quantitative analyses of biogas plant accidents in Europe. *Renewable Energy*, 122, 89–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.077>
- Tseng, J.M., Su, T.S. ve Kuo, C.Y. (2012). Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Engineering*, 45, 384-389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.175>
- Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği, (2019). <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/21.5.1426.pdf>
- Ünal, A.Y. (2020). Boğazları kullanan gemi sayısı 85 bine yaklaştı. Anadolu Ajansı, Erişim adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/bogazlari-kullanan-gemi-sayisi-85-bine-yaklasti/1700127>
- Vanem, E., Antão, P., Østvik, I. ve Comas, F.D.C. (2008). Analysing the risk of LNG carrier operations. *Reliability Engineering and System Safety*, 93(9), 1328–1344. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.07.007>
- Wang, K., Liu, Z., Qian, X. ve Huang, P. (2017). Long-term consequence and vulnerability assessment of thermal radiation hazard from LNG explosive fireball in open space based on full-scale experiment and PHAST. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 46, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.01.001>
- Yadav, R., Chaudhary, S., Yadav, B.P., Varadharajan, S. ve Tauseef, S.M. (2020). Assessment of Accidental Release of Ethanol and Its Dangerous Consequences Using ALOHA. *Advances in Industrial Safety*, Springer Singapore.
- Yedi Deniz. (2015). LNG gemileri 55 atom bombası gücünde. Erişim adresi: <https://www.7deniz.net/m-haber-16220.html>
- Zareei, H., Nikou M.K. ve Shariati A. (2016). A consequence analysis of the explosion of spherical tanks containing liquefied petroleum gas (LPG). *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 5 (3), 32-44.

## Türkiye’de Yetişen *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*’ nin Antibakteriyel ve Antifungal Özelliği

Pınar Erecevit Sönmez\*, Uğur Çakılcıoğlu

Munzur Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Pertek Sakine Genç Meslek Yüksekokulu, Tunceli, Türkiye

\*perecevit@munzur.edu.tr<sup>id</sup>, ucakilcioglu@yahoo.com<sup>id</sup>

Makale gönderme tarihi: 29.08.2021, Makale kabul tarihi: 26.11.2021

### Öz

Türkiye florasının en büyük cinsi olan *Centaurea L.*’ ya ait farklı türlerin etkinlikleri, ürettikleri bileşikler, insan sağlığı üzerine etkileri konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*’ nin kullanılabilir kısımlarının (toprak üstü olan yaprak, çiçek) patojen mikroorganizmalar karşı antimikrobiyal özellikleri üzerine ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*’ nin kullanılabilir kısımlarının metanoldeki çözeltisi uygulanarak insanlarda bulaşıcı hastalık yapan bakteri, maya, dermatofitler üzerinde oyuk agar ve mikrodilüsyon yöntemi ile bu mikroorganizmaların gelişimini önleyip önlemediği ve en küçük duyarlılık miktarını öğrenmek amaçlanmıştır. Antimikrobiyal duyarlılık sonuçları incelendiğinde; bitki solüsyonu maya, dermatofit izolatları ve diğer bakterilerin çoğalmasını önleme üzerinde genel olarak duyarlı (14.66 mm-11.66 mm inhibisyon zon çapı<sup>1</sup>) bir inhibisyon bölgesi oluşturmuştur. Bu demektirki; *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*’nin 40 mg’lık dozu hastalık yapan tüm test mikroorganizmalarının (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Klebsiella pneumoniae* klinik izolatı, *Candida albicans* RSKK 02007, *Candida glabrata* RSKK 014019, *Candida tropicalis* RSKK 02011, *Epidermophyton floccosum* RSKK 14024, *Trichophyton rubrum* RSKK 03022) çoğalmasını engelleyecek antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahiptir. Kontrol grubu ile kıyaslandığında bakterilerde anlamlı bir değişimin olmadığı maya ve dermatofitlerde ise anlamlı bir farklılığın olduğu belirlenmiştir (p<0,0001; cd, p<0.001; d). MİK sınır değerleri 100-6.25 µL’dir. Elde edilen veriler ile bu bitkinin patojenik mikroorganizmaların çoğalmasını azaltma kabiliyeti nedeniyle bulaşıcı hastalıkların tedavi ilaçları için bir kaynak olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Antibakteriyel ve antifungal aktivite, *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*, patojen mikroorganizma

## Antibacterial and Antifungal Features of *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei* that is herboized in Turkey

### Abstract

Although there are many studies on the activities of different species, the compounds and effects of *Centaurea L.*, the largest genus of the Turkish flora, on human health, no relevant studies have been conducted on the antimicrobial properties of the usable parts (above ground leaves, flowers) of *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei* against pathogenic microorganisms.

This study aimed to show whether it prevents the growth of these microorganisms that cause infectious diseases in humans on bacteria, yeast, dermatophytes that cause infectious diseases in humans via well agar and microdilution method by applying a methanol solution of the usable parts of *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*. Regarding the antimicrobial susceptibility results, the plant solution formed a generally sensitive inhibition zone (14.66 mm-11.66 mm inhibition zone<sup>1</sup> diameter) on inhibition of growth of yeast, dermatophyte isolates and other bacteria. This means that 40 mg dose of *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei* has antibacterial and antifungal that can prevent the growth of all test microorganisms (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Klebsiella pneumoniae* clinical isolate, *Candida albicans* RSKK 02007, *Candida glabrata* RSKK 014019, *Candida tropicalis* RSKK 02011, *Epidermophyton floccosum* RSKK 14024, *Trichophyton rubrum* RSKK 03022) that cause disease. It is seen when we compared with the control group that there was no significant difference in bacteria, however, a significant difference was observed in yeast and dermatophytes (p<0,0001; cd, p<0.001; d). MİK threshold values are 100-6.25 µL. It has been

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.988385

proven with the obtained data that the ability of this plant to reduce the proliferation of pathogenic microorganisms can be a source for the cure of contagious diseases.

**Keywords:** Antibacterial and antifungal activity, *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*, pathogenic microorganism

## GİRİŞ

Bitkilerin insanlar tarafından tıbbi amaçlar doğrultusunda kullanılması insanlık kadar eskiye dayanmaktadır (Kendir ve Güvenç, 2010). Bitkiler yeni doğal tıbbi ürünlerin birincil kaynağıdır. Daha da önemlisi, bazı bitkilerin doğal ürünlerinde antienflamatuar, antikarsinojenik, antiaterosklerotik, antibakteriyel, antifungal, antiviral, antimutagenik ve antialerjik etkinlikler rapor edilmiştir (Mahlo ve ark., 2016). Bitkilere olan bu ilgi nedeniyle birçok bitki ekstresi fitokimyasal açıdan incelenmiş ve halk tıbbında tedavi amaçları ile bitki ekstrelerinin içeriklerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Acet ve Özcan, 2017). Ayrıca Tüm dünyada alternatif tıba yönelim, özellikle antibiyotik dirençli suşların meydana getirdiği enfeksiyon hastalıklarının neden olduğu problemlerin iyileştirilmesinde günden güne artmaktadır (Avşar ve ark., 2016; Karaca ve ark., 2017).

*Centaurea* türlerine Anadolu'da genellikle zerdali diken, timur diken ve peygamber çiçeği denilmektedir (Tozyılmaz, 2019). Geleneksel Türk tıbbında bu türlerin balgam söktürücü antidiyabetik, antipiretik ve antidiarrhoeal olarak yaygın şekilde kullanılır (Boga ve ark., 2016). Etnobotanik raporlar *Centaurea* türlerinin antimikrobiyal, antifungal, antiülserojenik, antioksidan, antiplazmoidal, antiprotozoal, sitotoksik ve yara iyileşmesi, sindirim sistemi, mide, idrar söktürücü, astringent, hipotansif, müshil, analjezik, tonik, hemostatik gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olduğunu göstermiştir (Boga ve ark., 2016; Ozsoy ve ark., 2015).

Farklı *Centaurea* türlerinin türlerinin ürettikleri bileşiklerin, insan sağlığı üzerine etkileri konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır (Aktumsek ve ark., 2013; Albayrak ve ark., 2017; Doğan Şığva ve ark., 2017; Köse ve ark., 2008; Kılıç, 2015; Ozsoy ve ark., 2015; Ozkan ve ark., 2016; Taştan ve ark., 2017; Alper ve ark., 2021; Tugay ve ark., 2021).

Bu araştırmalara göre; tıbbi öneme sahip olan *Centaurea* türlerinden *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin çalışma kapsamında değerlendirilmiş olması, antioksidan, antimikrobiyal, antitümoral özelliklere sahip çok sayıda sekonder metabolit açısından zengin bir genus oluşu (El-Najjar ve ark.,

2008; Koukoulitsa ve ark., 2002) çalışmanın konusu ve kapsamını vurgulamaktadır.

Doğal ürünler, hayati risk taşıyan hastalıklar dahil olmak üzere çeşitli koşullar için bazı tedavi edici ajanları içermeleri bakımından potansiyellere sahiptir (Karaca ve ark., 2017). Dolayısı ile çalışmamız bu olumsuzlukların çözülmesi açısından alternatif tedavi yaklaşımının gelişimine imkan sağlayacaktır.

Yapılan çalışmada *Centaurea* türlerinin sağlığa faydalı etkilerinin de saptanması düşük maliyetli olması, yan etkilerinin olmaması, toksik etkilerin az olmasından dolayı ilaçların yüksek dozlama stratejilerinin yerine tercih edilmesine imkan tanımak, ilaç elde edilen bitkilere olan talebi artırmak amaçlanmıştır. Bu çalışma bitkiler ile doğal yollarla üretilen ilaç çalışmaları için ön araştırma niteliği taşımaktadır

Ek olarak in-vitro olarak incelenen *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin in vivo hayvan modellerinde araştırılması gerektiği kanısına varılmaktadır.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışmada Kullanılan Bitki

Bu çalışmada tıbbi öneme sahip *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin Elazığ ili Haziran ayında, Elazığ ili Harput yolunda, yüksekliği 1350 m olan kayalıklar çevresinden toplanmıştır. Analize kadar uygun aseptik şartlarda laboratuvarında tutulmuştur. Bitki numunesi Doç. Dr. Uğur Çakılcıoğlu tarafından teşhis edilmiştir. Bitki Örnekleri Munzur Üniversitesi Herbaryumun da saklanmıştır.

### Antimikrobiyal Özellik Çalışmada kullanılan bitkinin analize hazırlanması

Bitki örneğinin uygun kısımlarından 10 gram (gr) alınıp blender ile homojenize edilip steril cam erlenlere bırakılmıştır. Üzerine 50 mL metanol ilave edilmiş ve çözücü evaporatörde uzaklaştırılarak ekstraktlar hazırlanmıştır (Gupta ve ark., 2008).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.988385

Sonra bu ekstraktların antimikrobiyal aktiviteleri belirlenmiştir.

### Çalışmalarda kullanılan test mikroorganizmaları

Bu çalışmada 9 mikroorganizma kullanılmıştır. Bakteri olarak; *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Klebsiella pneumoniae* klinik izolatu maya olarak; *Candida albicans* RSKK 02007, *Candida glabrata* RSKK 014019, *Candida tropicalis* RSKK 02011, dermatofit fungus olarak *Epidermophyton floccosum* RSKK 14024, *Trichophyton rubrum* RSKK 03022 suşları kullanılmıştır. Bakteri suşları İstanbul Medical Park Göztepe Hastanesi Enfeksiyon Hastalıkları Klinik Mikrobiyoloji Laboratuvarından, mayalar ve dermatofit funguslar ise Refik Saydam Ulusal Tıp Kültür Koleksiyonundan elde edilmiştir. Bu mikroorganizmalar, önemli bitki ve insan patojenleri olmalarıyla beraber çok sayıda araştırmacı tarafından çalışma konusu olan antibakteriyel ve antifungal kapasiteleri nedeniyle seçilmiştir.

### Mikroorganizma kültürlerinin hazırlanması ve ekim

Bakteri suşları; Nutrient Broth'a aşılacak  $35\pm 1$  °C'de 24 saat, maya suşları; Yeast Malt Ekstrakt Broth'da ve dermatofit funguslar Glukozlu Sabouroud Broth'da  $25\pm 1$  °C'de 48 saat süre ile inkübe edilmiştir. Sıvı besiyerinde gelişen kültürler, McFarland (0.5) standart tüpüne göre bulanıklık ayarı yapıldıktan sonra buyyon tüplerine aktarılmıştır. Erlenmayerde steril edilen ve 45-50 °C'ye kadar soğutulan Muller Hinton Agar, Yeast Malt Ekstrakt Agar ve Sabouraud Dextrose Agar yukarıda belirtildiği şekilde hazırlanan bakteri, maya ve fungusların buyyondaki kültürü ile %1 oranında aşılacak (bakteri ; $10^6$  kob mL<sup>-1</sup>, maya ve fungus;  $10^4$  kob mL<sup>-1</sup>) iyice çalkalandıktan sonra 9 cm çapındaki steril petri kutularına 15'er mL konularak ve besiyerinin homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır.

### Oyuk Agar Metodu

Katılaştıran agar üzerine 6 mm çapında oyuk açılmıştır. Açılan oyuklara bir damla besiyerinden sonra 10 µl' de 20 mg bitki numunesi aktarılmıştır. Bu şekilde hazırlanan petri kutuları 4°C'de 1.5-2 saat bekletildikten sonra bakteri aşılacak plaklar  $37\pm 1$  °C'de 24 saat, maya ve dermatofit aşılacak

plaklar ise  $25\pm 1$  °C'de 3 gün süre ile inkübe edilmiştir. Çalışma 3 paralel olarak yürütülecek ve sonuçlar ortalama değer olarak inhibisyon zonu (mm) şeklinde değerlendirilmiştir (Özçelik, 1992; Collins ve Lyne 1987). Pozitif kontrol için standart antibiyotik diskler (bakteriler için ampisilin sulbaktam maya ve dermatofitler için mikostatin) kullanılmıştır. Tüm test mikroorganizmalarına karşı yapılan antimikrobiyal aktivite 3 kez tekrarlanmıştır.

### Mikrodilüsyon broth yöntemi (MİK)

Bitki ekstraktlarının mikroorganizmalara karşı Minimum inhibisyon konsantrasyonu'nu (MİK) belirlemek amacıyla mikrodilüsyon broth yöntemi kullanılmıştır (NCCLS, 2000; Ereçevit Sönmez ve Çakılcıoğlu, 2020). Bakteriler için Muller Hinton Broth (Accumix® AM1072), maya ve dermatofit funguslar için Sabouraud Dekstroz Broth (Himedia ME033) besiyerleri kullanılmıştır. Mikroorganizmaların pasajları bakteriler için  $37\pm 1$  °C'de 18-24 saatlik broth kültürleri, maya ve dermatofit patojenleri için 72 saatlik broth kültürlerinde  $25\pm 0.1$  °C'de hazırlanmıştır ve bulanıklık 0.5 McFarland standardı'na göre ayarlanmıştır. Metanol içeren bitki solüsyonları önce maksimum 40000 µg konsantrasyonda incelenmiştir ve ardından broth içeren aseptik mikrotitre plakaları üzerinde 100 µL den 3.75 µL'ye kadar 6 kez seri 2 katlı dilüsyonları yapılmıştır. Bu seri seyreltmeler bir optik yoğunluk ölçerde okunan bakteri, maya, dermatofit mantarlarının broth kültürleri üzerinde test edilmiştir. Daha sonra üreme açısından incelenecek olan mikropalaklar bakteriler için  $37\pm 1$  °C'de 18-24 saat, maya ve dermatofit patojenleri için  $25\pm 0.1$  °C'de 72 saat inkübe edilmiştir. Bakteriler için  $10^6$  kob mL<sup>-1</sup>, maya ve dermatofit funguslar için  $10^4$  kob mL<sup>-1</sup> olacak şekilde her kuyucuğa 50 µL mikroorganizma süspansiyonu eklenmiştir. Mikroorganizmaların çoğalmasını önlemek için kullanılan bitkilerin nominal değeri için o numunenin en küçük değeri olarak tanımlanmıştır. Kuyucuklarda bulanıklığın olmadığı yani mikrobiyal büyüme olmayan son tüp kullanılan bitki örneklerinin MİK değeri olarak kabul edilmiştir (mg mL<sup>-1</sup>). Test üç kez tekrarlanmıştır.

### İstatistik Analizi

İstatistiksel analizler SPSS 20 (Windows) paket programı kullanılarak gerçekleştirildi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi ile değerlendirildi. Gruplar arasındaki farklılıkların

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.988385

belirlenmesinde One Way ANOVA ve çoklu karşılaştırmalarda Tukey testi kullanıldı. Nicel veriler ortalama  $\pm$  standart hata (Ort. $\pm$ SH) olarak ifade edildi ve  $p<0.05$  değeri anlamlı kabul edildi.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

### Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları

Tablo 1. test edilen mikroorganizmalar için metanol de çözünen *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin oyuk agar metodu'na göre, Tablo 2. ve Şekil 1. minimum inhibitör konsantrasyonu'na göre antimikrobiyal özelliklerini göstermektedir. Bu *Centaurea* türünün hastalık yapıcı mikroorganizmaların üremesini engellenmeye başladığı ilk seyreltme konsantrasyonu 100  $\mu$ L olarak belirlenmiştir.

Metanol içinde çözünen *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*, maya ve dermatofit izolatları ve diğer bakterilerin çoğalmasını önleme üzerinde genel olarak anlamlı derecede duyarlı (14.66 mm- 11.66 mm inhibisyon zon çapı<sup>-1</sup>) bir inhibisyon bölgesi göstermiştir ( $p<0.001$ ;d). Buna göre; bitki *E. coli* üzerinde 14.6 mm inhibisyon zonu<sup>-1</sup>, *S. aureus* ve *E. faecalis*' e karşı 12.6 ya da 12.7 mm inhibisyon zonu<sup>-1</sup>, *K. pneumoniae* da ise 11.6 ya da 11.7 mm inhibisyon zonu<sup>-1</sup> oluşturmuştur. Bu veriler bitkinin bakterisidal etkisinin sonucudur. Dermatofitler ve mayalar için ortalama inhibisyon bölgesi 8.6 ya da 8.7 mm'lik inhibisyon zonundan 14.6 mm'lik bir inhibisyon zonuna kadar değişmektedir ve bu veri belirgin bir fungisidal etki (fungus hücrelerinin gelişimini veya üremesini önleyen) gösterdiğinin kanıtıdır. Ek olarak pozitif kontrol mikostatin 18.6 mm inhibisyon zonu<sup>-1</sup> ile 34.6 mm inhibisyon zonu<sup>-1</sup> arasında anlamlı derecede değişen yüksek bir etki göstermiştir ( $p<0.0001$ ; cd).

Minimal inhibisyon konsantrasyonu test edilen mikroorganizmalar için incelendiğinde; (Tablo 2. ve Şekil 1.) metanol de çözünen *C. urvillei*'nin *E. coli* üzerinde çoğalmasını engellediği en düşük konsantrasyon; 6.25  $\mu$ L, *S. aureus*, *E. faecalis* çoğalmasını engellediği en düşük konsantrasyon 12.5  $\mu$ L, *K. pneumoniae* üzerinde ise 25  $\mu$ L' dir. Maya ve dermatofitlerin üremesini önleyen en düşük konsantrasyon ise *C. albicans*, *C. glabrata* üzerinde 25  $\mu$ L, *C. tropicalis*; 100  $\mu$ L, *E. floccosum* üzerinde 6.25  $\mu$ L, *T. rubrum* üzerinde 12.5  $\mu$ L' dir.

Bakterilerden; *K. pneumoniae* klinik izolatu, *E. faecalis* maya olarak; *C. albicans*, *C. glabrata*, *C. tropicalis*, dermatofit fungus olarak; *E. floccosum*, *T.*

*rubrum* suşlarının üremesini engellemek için *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin antimikrobiyal etkisi ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

*C. urvillei* subsp. *urvillei* bitkisinin *Candida krusei*'ye karşı antifungal aktivite gösterdiği yapılan bir çalışmada belirtilmiştir. Ayrıca *C. urvillei* ssp. *urvillei* dahil üç *Centaurea* türü 100 mg= $mL$ 'lik en yüksek test konsantrasyonunda hiçbir aktivite göstermediği ve *C. urvillei* Türkiye'deki floranın farklı alt türlerini temsil ettiği ancak alt tür adları belirtilmediği için yapılan çalışmada kesin bitki materyalleri bilinmediği ifade edilmiştir (Karamenderes ve ark., 2006). *C. urvillei* ssp. *urvillei* bitkisinin antimikrobiyal aktivite göstermemesi; bitkinin toplanma zamanı, coğrafî orjin, iklim, mikroorganizma çeşidi gibi faktörlere bağlı olarak değişikliğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Ereçevit ve Kırbağ, 2017).

Aynı zamanda *C. urvillei* ssp. *urvillei* metanol ekstraktlarının mikrodilüsyon tekniği kullanılarak *E. coli*, *Bacillus cereus*, *Salmonella enteritidis*, *S. aureus* bakterilerine karşı antimikrobiyal etki gösterdiği ifade edilmiştir (Khammar ve Djeddi, 2012). Yaptığımız çalışmanın sonuçları ile karşılaştırdığımızda; *E. coli*, *S. aureus* bakterilerine karşı gösterdiği antibakteriyel etki ile paraleldir.

Tekeli ve ark. (2011) antibiyotiğe dirençli bakterilerin çok ciddi bir sorun oluşturduğu ve *Centaurea* ekstaktlarının bulaşıcı hastalıkların tedavisi için potansiyel yeni ilaçlara işaret ettiğini vurgulamıştır.

Başka bir çalışmada ise *C. urvillei* subsp. *urvillei*'nin metanol ekstraktının *E. coli* (1000 mg  $mL^{-1}$  de) ve *S. aureus*' a (2000 mg  $mL^{-1}$  de ) karşı antibakteriyel aktivite gösterdiği ve doğal antibiyotik kaynağı olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Tekeli, Zengin, Aktümsek, Sezgin, Torlak, 2011). Bizim elde ettiğimiz verilere bakıldığında; her iki bakteri (*E. coli* ve *S. aureus*) için uyumludur.

Farklı *Centaurea* türlerinin etkinlikleri, ürettikleri bileşikler, insan sağlığı üzerine etkileri konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır. *C. antiochia* var. *praealta*'nın Alzheimer hastalığını tedavi etmek için bir tıbbi bitki olarak kullanılması ve doğal antimikrobiyal ajan etkinliğinin olması (Ozsoy ve ark. 2015), *Centaurea* türlerinden elde edilen seskiterpen yapısındaki bileşiklerin sitotoksik ve antitümoral özellikte olmaları (Doğan Şığva ve ark., 2017), *C. balsamita*, *C. calolepis*, *C. cariensis* subsp.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.988385

*maculiceps*, *C. cariensis* subsp. *microlepis*, *C. kotschyi* var. *kotschyi*, *C. solstitialis* subsp. *solstitialis*, *C. urvillei* subsp. *urvillei* ve *C. virgata* türlerinin antibakteriyel aktiviteye sahip olmaları (Ozkan ve ark., 2016), *C. wagenitzii*, *C. tossiensis*, *C. luscaniana* türlerinin içerdiği essansiyel yağlar (Köse ve ark., 2008), *Phlomis* türlerinin içerdiği bu sekonder bileşiklerin çeşitliliği nedeniyle biyolojik aktivite araştırmaları ile in vivo şartlarda antidiyabetik, antialerjik, analjezik, antiülserojenik etkilerinin yanısıra, in vitro şartlarda damar koruyucu, antibakteriyel, antifungal etkileri ve antikanser aktivitelerinin araştırılması (Doğan Şığva ve ark., 2017), *C. antiochia* Boiss var. *praealta* (Boiss. & Bal.) *Wagenitz* özütünün antioksidan, anti-inflamatuar, asetilkolinesteraz (AChE) önleyici olması, yara iyileştirici antimikrobiyal bir ajan olarak da görev alması (Ozsoy ve ark., 2015), Elazığ Türkiye'den endemik bir bitki olan *Psephellus pyrrhoblepharus* (Boiss.) *Wagenitz* (*C. pyrrhoblephara*)'un sitotoksik potansiyelini değerlendirilmesi (Taştan ve ark., 2017), *C. cynaus* L. ve *C. depressa* Bieb. Türlerinin esansiyel yağ içeriği araştırılması (Kılıç, 2015) *C. amaena* Boiss. & Balansa ve *C. aksoyi* Hamzaoğlu & Budak. fenolik içeriği ve biyolojik aktivitelerinin karşılaştırılması (Albayrak ve ark., 2017), dört *Centaurea* L. türünün yağ asidi içeriği ve antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi (Aktumsek ve ark., 2013) ile ilgili bir çok çalışma mevcuttur.

*C. urvillei*'nin başka bir alt türü olan *C. urvillei* subsp. *stepposa*'nin metanolik ekstarktının zengin bir fenolik içeriğe sahip olduğu ve diğer *Centaurea* türlerinin antioksidan etkisinin daha yüksek olduğu başka bir çalışmada ifade edilmiştir (Alper ve ark. 2021).

Farklı bir *Centaurea* türünün *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Salmonella*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Acinetobacter* ve *Escherichia* cinsi üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği belirtilmiştir (Fattaheian-Dehkordi ve ark.,2021).

## SONUÇLAR

Daha önce bu *Centaurea* türünün kullanılabilir kısımlarının bakterilerden; *K. pneumoniae* klinik izolatu, *E. faecalis* maya olarak; *C. albicans*, *C. glabrata*, *C. tropicalis*, dermatofit fungus olarak; *E. floccosum*, *T. rubrum* suşlarının üremesini engelleme üzerindeki antimikrobiyal etkilerini inceleyen herhangi bir araştırma yapılmamıştır.

Bu çalışmada *C. urvillei*'nin hastalık yapan mikroorganizmalara karşı antibakteriyel ve antifungal etkileri belirlenmiştir. Bu nedenle alternatif ilaç çalışmalarında biyoaktif hammadde olarak kullanılabilceği önerilmektedir.

**Tablo 1.** Oyuk agar yöntemi kullanılarak *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin patojenik mikroorganizmalar üzerindeki inhibitör etkileri

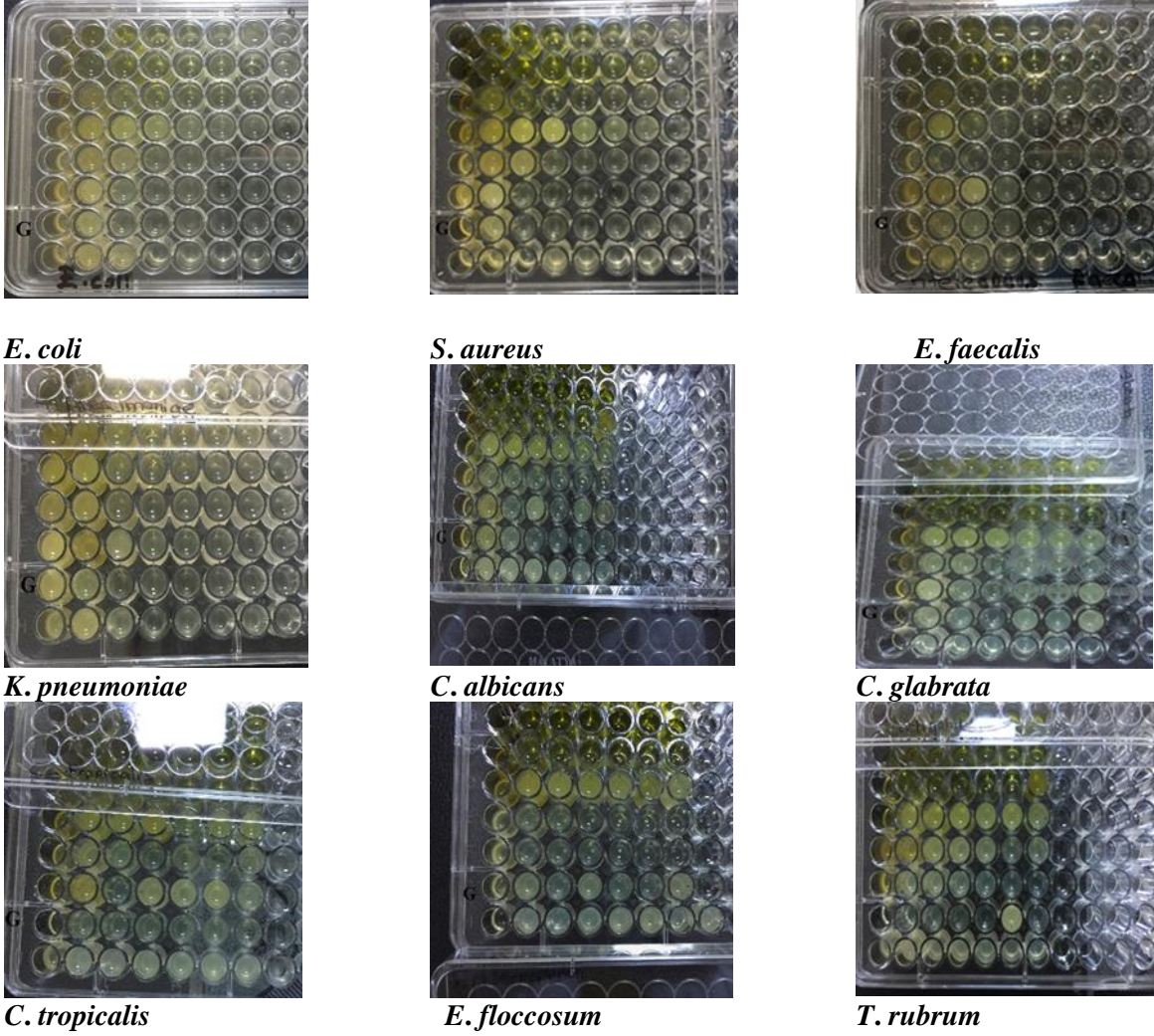
Mikroorganizmalar	İnhibisyon Bölgesi (µL)		
	Metanol ile Hazırlanan <i>C. urvillei</i> DC. subsp. <i>urvillei</i>	Metanol	Standart Antibiyotikler
<i>E. coli</i>	14.66±0.3 <sup>d</sup>	-	14.33±0.3*
<i>S. aureus</i>	12.66±0.3 <sup>d</sup>	-	14.33±0.3*
<i>E. faecalis</i>	12.66±0.3 <sup>d</sup>	-	18.33±0.3*
<i>K. pneumoniae</i>	11.66±0.3 <sup>d</sup>	-	19.66±0.3*
<i>C. albicans</i>	11.66±0.3 <sup>d</sup>	-	28.33±0.33**
<i>C. glabrata</i>	11.66±0.3 <sup>d</sup>	-	32.66±0.33**
<i>C. tropicalis</i>	8.66±0.3 <sup>d</sup>	-	34.66±0.33
<i>E. floccosum</i>	14.66±0.3 <sup>d</sup>	-	18.66±0.33**
<i>T. rubrum</i>	12.66±0.3 <sup>d</sup>	-	18.66±0.33**

**Negatif Kontrol:** metanol, **Pozitif Kontrol:** ampicilin sulbaktam (\*) ve mikostatin (\*\*) (100 µL ve 20µg disk<sup>-1</sup>). Negatif kontrol: metanol. Zon çaplarının yorumlanması (mm); zon çapı >11 mm (**anlamlı derecede hassas**; p<0,0001; **cd**, p<0.001 ; **d**), **dirençli**= 8-10 c: p<0.01, **duyarlı değil** (-) (**a**: p>0.05).

**Tablo 2.** Minimum inhibisyon konsantrasyonu ile (MİK:100 µL; mg mL<sup>-1</sup>) *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin inhibitör etkisi

Mikroorganizmalar	İnhibisyon Bölgesi (µL)
	Metanol ile Hazırlanan <i>C. urvillei</i> DC. subsp. <i>urvillei</i> 'nin MİK Değerleri
<i>E. coli</i>	6.25
<i>S. aureus</i>	12.5
<i>E. faecalis</i>	12.5
<i>K. pneumoniae</i>	25
<i>C. albicans</i>	25
<i>C. glabrata</i>	25
<i>C. tropicalis</i>	100
<i>E. floccosum</i>	6.25
<i>T. rubrum</i>	12.5

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.988385



Şekil 1. Minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK:100 µL) ile *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin antimikrobiyal özelliğinin mikrotiter'deki görünüşü

**NOT:** Mikrotiter da sekiz kuyu vardır. **1. kuyucuk;** *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin üzerine eklenmiş mikroorganizma kültürleri. Seyreltmeler mikrotiter içindeki 2. 7. ile 8. kuyucuklardan yapılmıştır. 2. ile 7. kuyucuklardan broth besiyeri ortamı+(100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.75 mikrolitre metanol de hazırlanan *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei* +mikroorganizma kültürleri). G harfi ile işaretlenmiş kuyucuklar, metanol içinde çözülmüş *C. urvillei* DC. subsp. *urvillei*'nin 100 µL den 6.25 µL'ye kadar olarak adlandırılan konsantrasyonlarıdır.



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.988385

### 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

- Aktumsek, A., Zengin, G., Ozmen Guler, G., Cakmak, Y. S. ve Duran, A. (2013). Assessment of the antioxidant potential and fatty acid composition of four *Centaurea* L. taxa from Turkey. *Food Chemistry*, 141, 91–97. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.02.092.
- Avşar, C., Keskin, H., & Berber, İ. (2016). Hastane infeksiyonlarından izole edilen mikroorganizmalara karşı bazı bitki ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesi. *International Journal of Pure and Applied Science*, 2, 22-29.
- Albayrak, S., Atasagun, B. ve Aksoy, A. (2017). Comparison of phenolic components and biological activities of two *Centaurea* sp. obtained by three extraction techniques. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10, 599-606. doi: 10.1016/j.apjtm.2017.06.010.
- Acet, T. ve Özcan, K. (2017). Investigation of some biological activities of *Equisetum arvense* plant used for medicinal purposes in Gümüşhane province. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science technology TURJAF*, 5,1810-1814. doi:10.24925/tu. rjaf.v5i13.1810-1814.1732
- Alper, M., Özay, C., Güneş, H., Mammadov, R. (2021). Assessment of antioxidant and cytotoxic Activities and Identification of Phenolic Compounds of *Centaurea solstitialis* and *Urospermum picroides* from Turkey. *Biological and Applied Sciences Brazilian Archives of Biology and technology*, 64, 12. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021190530>
- Boga, M., Alkan, H., Ertas A., Oral E. V., Yılmaz, M., Yeşil, Y., Gören, A. C., Temel, H. ve Kolak, U. (2016). Phytochemical profile and some biological activities of three *Centaurea* species from Turkey. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 15, 1865-1875.
- Collins, C. H. ve Lyne, P. M. (1987). Mikrobiyological methods. 450 pp. London. Butter Morths & Co (Publishers) Ltd.
- Doğan Şığva, Z. Ö., Hasvatan, E. E., Gülen, G., Uslu, R., Eryıldız, B., Durmuşkaya, C., Kayalar, H., Özbilgin, A., Korkmaz, M. ve Gündüz, C. (2017). Effect of extracts of the endemic plants *Centaurea*

*lydia* and *Phlomis nissolii* on *Toxoplasma gondii*. *Turkish Journal of Parasitology*, 41, 164-8. doi: 10.5152/tpd.2017.5451

- El-Najjar, N., Dakdouki, S., Darwiche N., El-Sabban, M., Saliba, N. A. ve Gali-Muhtasib, H. (2008). Anti-colon cancer effects of Salograviolide A isolated from *Centaurea ainetensis*. *Oncology Reports*, 19, 897-904. doi:10.3892/or.19.4.897
- Erecevit, P. ve Kırbağ, S., (2017). Some phytochemical effects of *Pyrus communis* L. (Pear) on the development of *Saccharomyces cerevisiae* as probiotic yeast. *International Journal of Pure and Applied Science*, 3,13-23.
- Erecevit Sönmez, P. ve Çakılcıoğlu, U. (2020). Screening of Antimicrobial effect against microorganisms threatening to human health of the endemic plant; *Centaurea saligna* (C. Koch) Wagenitz from Turkey. *Turkish Journal of Nature and Science*, 9 (Özel Sayı), 23-27.
- Fattaheian-Dehkordi, S., Hojjatifard, R., Saeedi, M., Khanav, M. (2021). A Review on antidiabetic activity of *Centaurea* spp.: A New. Approach for Developing Herbal Remedies. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, 23. <https://doi.org/10.1155/2021/5587938>
- Gupta, C., Garg, A. P., Uniyal, R. C. ve Kumari, A. (2008). Comparative analysis of the antimicrobial activity of cinnamon oil and cinnamon extract on some food-borne microbes. *African Journal of Microbiology Research*, 2, 247-251. doi:10.5897/AJMR.9000180
- Koukoulitsa, E., Skaltsa, H., Karioti, A., Demetzos, C. ve Dimas, K. (2002). Bioactive esquiterpene lactones from *Centaurea* species and their cytotoxic/ cytostatic activity against human cell lines in vitro. *Planta Medica*, 68, 649-52. doi: 10.1055/s-2002-32893
- Karamenderes, C., Khan, S., Tekwani, B. L., Jacob, M. R. ve Khan, I. A. (2006). Antiprotozoal and antimicrobial activities of *Centaurea* species growing in Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 44, 534–539. doi:10.1080/13880200600883080
- Köse, Y. B., Demirci, B., Başer, K. H. C. ve Yücel, E. (2008). Composition of the essential oil of three endemic *Centaurea* species from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 20, 335-338. doi:10.1080/10412905.2008.9700025
- Kendir, G. ve Güvenç, A. (2010). Etnobotanik ve Türkiye’de yapılmış etnobotanik çalışmalara genel bir bakış. *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 30, 49-80.
- Khammar, A. ve Djeddi. S. (2012). Pharmacological and biological properties of some *Centaurea* species. *European Journal of Scientific Research*, 84, 398-416.


Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.988385

- Kılıç, Ö. (2015). Türkiye’den iki *Centaurea* L. (Asteraceae) türünün uçucu yağ kompozisyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 28-33.
- Karaca, B., Akata, I. ve Çöleri Cihan, A. (2017). Antibiofilm and antimicrobial activities of *Lentinus edodes*, *Lactarius delicious* and *Ganoderma lucidum*. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17, 660-668. doi:10.17475/kastorman.341971
- Mahlo, S. M., Chauke, H. R., McGaw, L., Eloff, J. (2016). Antioxidant and antifungal activity of selected medicinal plant extracts against phytopathogenic fungi. *African Journal of Traditional Complementary Alternative Medicine*, 13, 216-222. doi: 10.21010/ajtcam.v13i4.28
- NCCLS (2000). Methods for dilution and antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically; approved standard- Fifth Edition. NCCLS document M7-A5, NCCLS: Wayne, PA, USA.
- Ozsoy, N., Kultur, S., Yilmaz-Ozden, T., Ozbek Celik, B., Can, A. ve Melikoglu, G. (2015). Antioxidant, anti-inflammatory, acetylcholinesterase inhibitory and antimicrobial activities of Turkish endemic *Centaurea antiochia* var. *Praealta*. *Journal of Food Biochemistry*, 39, 771-776. doi: 10.1111/jfbc.12143
- Ozkan, G., Kamiloglu, S., Ozdal, T., Boyacioglu, D. ve Capanoglu, E. (2016). Potential use of Turkish medicinal plants in the treatment of various diseases. *Molecules*, 21, 257. doi: 10.3390/molecules21030257.
- Özçelik, S. (1992). Gıda mikrobiyolojisi laboratuvar kılavuzu. Fırat Üniv Fen-Edebiyat Fak Yayın No:1, 1992; Elazığ, 85s.
- Tekeli, Y., Zengin, G., Aktümsek, A., Sezgin, M. ve Torlak, E. (2011). Antibacterial Activities of Extracts from Twelve *Centaurea* species from Turkey. *Archive Biological Science Belgrade*, 63, 685-690. doi:10.2298/ABS1103685T
- Taştan, P., Armagan, G., Dağcı, T. ve Kıvçak, B. (2017). Potential cytotoxic activity of *Psephellus pyrrhoblepharus* extracts. *Proceeding*, 1, 1047. doi:10.3390/proceedings1101047
- Tozyılmaz, V. (2019). Anadolu florasına ait bazı Endemik türlerin antimikrobiyal, antioksidan ve antibiyofilm aktivitelerinin incelenmesi. Yüksek Lisan Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji AnaBilim Dalı, Bartın. s167.
- Tugay, O., Paşayeva, L., Demirpolat, E. ve Şahin, M. (2021). Comparative evaluation of cytotoxicity and phytochemical composition of *Centaurea iconiensis* (*Rhaponticoides iconiensis*). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions*

A: 45, 65–75. <https://doi.org/10.1007/s40995-020-01030-y>

## Analytical Evaluation of Behavior of Composite Columns Under Axial Load

Serkan Etlı

Munzur University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Tunceli, Turkey  
serkanetli@munzur.edu.tr 

Received date:06.09.2021, Accepted date: 25.11.2021

### Abstract

In the literature, various studies have been carried out for different nonlinear modeling strategies to model the response of such composite column members subjected to dynamic loads. In studies of concrete filled steel tubes elements with software using a finite element method such as ABAQUS, ANSYS and LS-DYNA, which have been used in the literature in recent years, it is seen that steel and concrete components are generally modeled separately with the help of plate, shell, or solid elements. To simulate the interaction between these element models, the help of some other connector or interface elements is needed. Therefore, the biggest disadvantage of using commercial packages is that very complex calculations arise by using much smaller parts of the element to be analytically modeled and the interaction structures to be produced between them. As a result, the necessity of computationally intensive and at the same time long-term work emerges. Within the scope of this study, it is aimed to calculate composite columns faster and more accurately as possible by using fiber section elements and standard material models under axial loading effects. It was observed that the selected parameters had a significant effect on the results obtained.

**Keywords:** Composite column, fiber section, material model

## Eksenel Yük Altında Kompozit Kolonların Davranışının Analitik Değerlendirilmesi

### Öz

Literatürde, dinamik yüklere maruz kalan bu tür kompozit kolon elemanlarının tepkisini modellemek için farklı doğrusal olmayan modelleme stratejileri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Literatürde son yıllarda kullanılan ABAQUS, ANSYS ve LS-DYNA gibi bir sonlu elemanlar yöntemi kullanan yazılımlar ile beton dolgulu çelik tüp elemanlarına ait çalışmalarda, çelik ile beton bileşenlerin genellikle plaka, kabuk veya katı elemanların yardımı ile ayrı ayrı modellendikleri görülmektedir. Bu eleman modellerinin aralarındaki etkileşimi simüle etmek için bazı diğer bağlayıcı veya arayüz elemanlarının yardımına ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, ticari paketler kullanmanın en büyük dezavantajı, analitik olarak modellenecek elemana ait çok daha küçük parçalar kullanılarak ve bunlar arasında üretilecek olan etkileşim yapıları nedeniyle çok karmaşık hesaplamalar ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak hesaplama açısından yoğun ve aynı zaman uzun süreli çalışma gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında kompozit kolonların eksenel düşey etkiler altında fiber kesitli elemanlar ve standart malzeme modelleri kullanılarak daha hızlı ve mümkün olduğunca daha doğru hesaplanması hedeflenmiştir. Seçilen parametrelerin elde edilen sonuçlar üzerinde önemli derecede etkili olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit kolon, fiber kesit, malzeme modeli

### INTRODUCTION

Concrete-filled steel column (CFST), which is reinforced by confinement effect with elements with steel tube sections and enhanced by utilizing the superior properties of concrete and steel, is normally used in concrete columns to meet the extra stresses that may occur due to structural effects. This technique can be used in the literature to increase the strength of an existing column in the structure, or it

can be produced as a new element in high-rise buildings with large spans or designed on a large scale. (Etlı & Güneyisi, 2020, 2021; Li et al., 2018; Matsui, 1986). The higher ductility, higher rigidity and higher strength provided by CFST elements are used in earthquake resistant structures of these structures or in the construction of bridge piers that are often exposed to impact and dynamic loads (Etlı

& Güneyisi, 2020, 2021; Lee et al., 2009; Shanmugam & Lakshmi, 2001).

Experimental studies have been carried out on the behavior of CFST elements with different cross-section properties and geometries, such as circular, rectangular, elliptical, and square sections, under pure axial and eccentric compression, tension, and torsional forces, recently studied with CFST elements (Han et al., 2006, 2011, 2014; Lee et al., 2009; Ou et al., 2011; Perea et al., 2013; Shanmugam & Lakshmi, 2001). Also, different codes (ACI (ACI 318-08, 2008), AISC (AISC, 2003) and EC4 (EN 1994-1-1, 2004)) included design provisions for CFST columns.

Many parameters affect the structural behavior of CFST elements, such as L/D and D/t ratios (L length, D core diameter and t wall thickness), material properties such as concrete strength and steel yield strength. Experimental evaluation of all these effects is not only expensive, but also very time-consuming. Therefore, in these elements, nonlinear finite element simulation approach may be the best solution to examine and account for all the effects mentioned (Liang & Fragomeni, 2009).

In the literature, various studies have been conducted for different nonlinear modeling strategies to model the response of such composite column elements subjected to dynamic loads. In the modeling of CFST elements with a finite element package such as ABAQUS, ANSYS and LS-DYNA, steel and concrete components are generally modeled separately using a plate, shell, or solid elements. Then, these element models are combined with some binder or interface elements to simulate the interaction between steel and concrete. (Ellobody & Young, 2006; Ge & Usami, 1994; Han et al., 2007; H.-T. Hu et al., 2003; H. T. Hu et al., 2005; Schneider, 1998; Thai & Kim, 2011; Ly et al., 2021; Asteris et al., 2021; Ayough et al., 2021). The main disadvantage of using commercial packages is that the structures become very complex due to very finely divided into smaller pieces and are therefore computationally intensive. In addition, it is difficult to properly and adequately model the composite behavior that occurs between steel and concrete, i.e. the interaction between concrete and steel materials, which is necessary to show interoperability limits (Thai & Kim, 2011). Many composite beam and column models with different cross-sections have been developed by researchers in the literature under different behavior models. Tomii and Sakino (Tomii

& Kenji, 1979) presented an analytical model for beams and columns produced as CFST with the help of elastic-plastic analysis. Considering the mentioned models and their experimental studies, detailed models for stress-strain developed by considering boundary effects for concrete confinement with steel pipe elements in CFST element are proposed. Hajjar et al. (Hajjar et al., 1998) proposed a model using a distributed plastic finite element based on fiber elements to perform nonlinear inelastic analysis of CFST beam columns.

In this study, CFST column elements were modeled in 3D with fiber section modeling technique and inelastic force-based frame element type elements were modeled in SeismoStruct (SeismoStruct, 2015) software. Some experimental studies under axial force in the literature were modeled using material models commonly used in the literature in element models, and the results obtained were examined comparatively.

## MATERIAL AND METHODS

Within the scope of the study, the material models frequently found in the literature were used to evaluate the behavior of these elements quickly and reliably by making use of the square section column elements examined under axial force in the literature. While the Mander (Mander et al., 1988) concrete model was used for the concrete in the core parts of the CFST elements, square steel tubular elements were used in the outer parts. In these steel parts, the bilinear steel model and Ramberg-Osgood (Gadamchetty et al., 2016) steel material models, which are widely used in the literature, are used. The technical information and calculation techniques of the models used are presented in detail below.

### Material models

The concrete model used in this study was developed by Martínez-Rueda and Elnashai (Martínez-Rueda & Elnashai, 1997), and a concrete model that considers the behavior of concrete under cyclic loads was used while the model was being obtained. This model is defined as “con\_ma” within the SeismoStruct software. In this study, the confinement effect on CFST columns is provided by steel SHS (square hollow section) at the outermost part of the element. The confinement effect is defined by the  $k_c$  value in the selected concrete model of the SeismoStruct (Seismosoft, 2018) software. The confinement factor  $k_c$  is described as the ratio of the

compressive strength of the confined concrete model to the plain concrete strength. The confinement effect on the concrete cores of the CFST columns is provided by the steel SHS at the outermost part of the member. The  $k_c$  value obtained from the confinement effect calculations is reflected in the concrete model of the SeismoStruct (Seismosoft, 2018) software.

The calculation methods given by Sakino et al. (Sakino et al., 2004) were used in the calculations of the axial pressure load capacity. While obtaining the equation, it is assumed that the strength capacity of  $f_{cc}$  confined concrete, which is used in the calculation of the strength of the confined concrete, is calculated by Equation 1. In addition, the strength reduction factor was calculated with Equation 2 (Liang, 2009). In addition, the confinement coefficient given by  $k$  was considered as 4.1, as stated by Richart (Richart et al., 2005). On the other hand,  $f_{cr}$  confining stress (lateral pressure),  $\gamma_U$  (strength reduction factor for concrete),  $f_{cc}$  (strength of confined concrete),  $f_c'$  (concrete compressive strength),  $f_{sy}$  (yielding strength of steel) is given in Equation 3 (Sakino et al., 2004).

$$f_{cc} = \gamma_U \times f_c' + k \times f_{cr} \quad (1)$$

$$\gamma_U = 1.85 \times B_c^{-0.135} \quad 0.85 \leq \gamma_U \leq 1 \quad (2)$$

$$f_{cr} = \frac{2 \times t^2 \times (B - t) \times f_{sy}}{B_c^3} \quad (3)$$

The term  $B$  in the equation is the section width of SHS, while  $B_c$  refers to the section width of the concrete core,  $t$  is the thickness of section. In addition, the  $\varepsilon_{co}$  (strain at maximum stress of concrete) value calculated for plain concrete is calculated as given in Equation 4 (Sakino et al., 2004).

$$\varepsilon_{co} = 0.94 \times (0.85 \times f_c')^{0.25} \times 10^{-3} \quad 0.002 \leq \varepsilon_{co} \leq 0.0022 \quad (4)$$

For the structural steel forming the outer shell of the CFST element, two commonly used models, Bilinear steel model and Ramberg-Osgood steel model, were used. The strain-hardening modulus in

the Bilinear steel model was used as in Annex C EC3 (EN 1993-1-1, 2005), Kemp et al. (Kemp et al., 2002) and literature. In the Ramberg-Osgood steel model, the parameter  $n$  is calculated by Equation 5 and taken from literature.

$$n = \frac{\log(f_{su}) - \log(f_{sy})}{\log(\varepsilon_{su}) - \log(\varepsilon_{sy})} \quad (5)$$

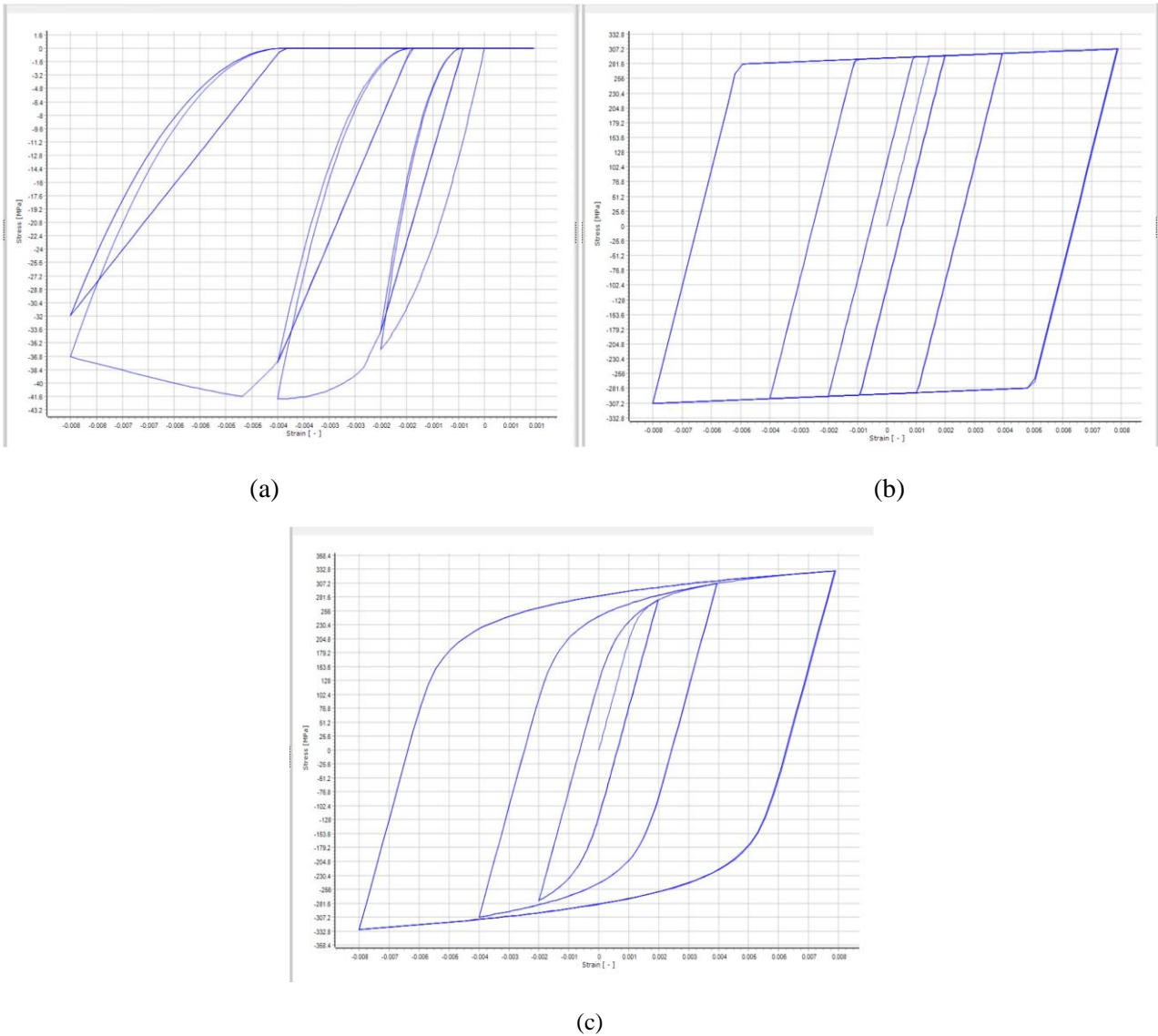
It is suggested by EN 1993-1-5 (EN 1993-1-1, 2005), that the strain hardening coefficient ( $\mu$ ) is 0.01 in the approach of steel material behavior. On the other hand, Kemp et al. (Kemp et al., 2002) recommended that it be taken as 0.013. This value was taken as 0.005 and worked with structural analysis (Elghazouli et al., 2008). In the studies by Wang (2011), 0.013 remained very high (for steel elements), while the value of 0.01 converged, but still gave high results. In the context of the subject, it is important to examine the effect of concrete on this situation in composite elements.

As a result, strain hardening parameter is used in calculations as 0.005, 0.01, and 0.013 for Bilinear steel model, while in Ramberg-Osgood steel model, in addition to the value found by calculation,  $n=20$  value, which is widely used in the literature, was used for examination purposes in the models.

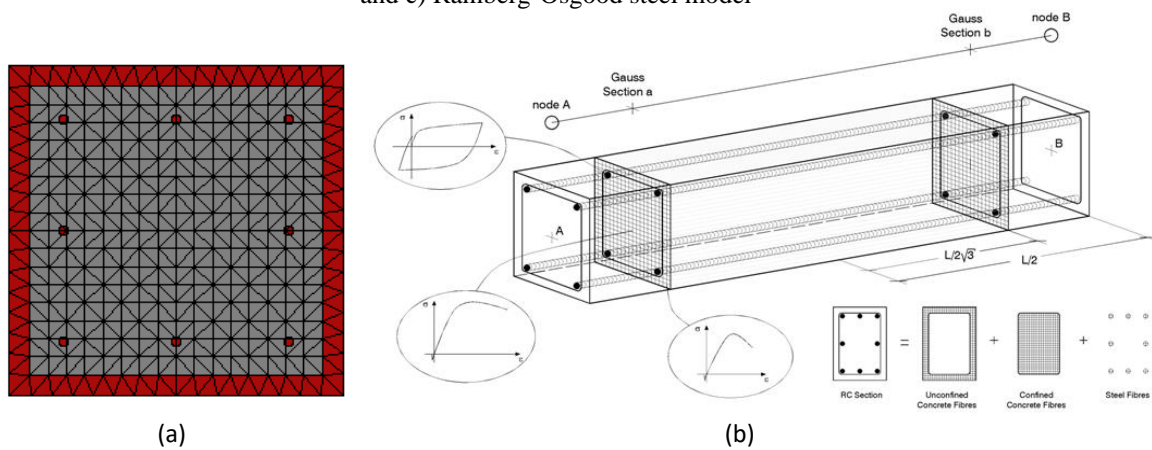
While  $f_{sy}$  and  $\varepsilon_{sy}$  are the yield stress and elongation of the steel, respectively,  $f_{su}$  and  $\varepsilon_{su}$  are given as the ultimate stress and elongation of the steel, respectively. SeismoStruct software images of Mander concrete model, Bilinear steel model and Ramberg-Osgood steel models are given in Figure 1.

The column elements are modeled with the inelastic force-based frame element type. This is a force-based 3D beam-column element type that can model elements of space frames with geometric and material nonlinearities. In this element modeling technique, element sections are divided into fiber elements as given in Figure 2a. It also uses distributed elasticity elements as shown in Figure 2b during calculations. Distributed elasticity elements are widely used in earthquake engineering applications for both research and professional engineering purposes.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.991166



**Figure 1.** Material models view from SeismoStruct software a) Mander concrete model, b) Bilinear steel model and c) Ramberg-Osgood steel model



**Figure 2.** View from SeismoStruct software a) CFST column fiber section and b) Gauss sections

**Table 1.** Specimen properties

Specimen ID	References	$f_{cd}$ (MPa)	$f_{sy}$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	b (mm)	t (mm)	l (mm)	$\nu$
4LN	(Tomii et al., 1977)	18.1	294.3	203067	150	4.3	450	0.3
4MN		27.8	294.3	203067	150	4.3		
4HN		36.4	294.3	203067	150	4.3		
CR4-A-2	(Baba et al., 1995)	25.4	261.2	213000	148.4	4.38	500	
CR4-A-4		40.5	261.2	213000	148.4	4.38		
27	(Grauers, 1993)	33	379	200000	250	8	609.6	
S1	(Srinivasan & Schneider, 1999)	30.454	356	180518	127	3.15	720	
S2		26.044	357	190164	127	4.34		
S3		23.805	322	205322	127	4.55		
S4		23.805	312	203944	127	5.67		
S5		23.805	347	204633	127	7.47		
A1	(Ding et al., 2016)	35	257	206000	240	4	300	
I-A	(Tomii & Sakino, 1979)	32	194	210000	100	2.29	323	
II-A		21	339	218000	100	2.2		
III-A		21	288	210000	100	2.99		
IV-A		20	284	230000	100	4.25		
CR4-A-4-1	(Sakino & Ishibashi, 1985)	40.5	262	210000	148	4.38	323	
CR4-C-4-1		41.1	262	210000	215	4.38		
CR4-D-4-1		41.1	262	210000	323	4.38		

Within the scope of the study, the material and cross-sectional properties of the experimental studies taken from the literature are given in Table 1. In Table 1, concrete compressive strength, steel yield strength, and Poisson ratio are given, respectively, with the symbols  $f_c$ ,  $f_{sy}$ ,  $E_s$  and  $\nu$  belonging to the experimental studies taken from the literature. In addition, section width, wall thickness and element heights are classified with b, t, and l symbols, respectively, in Table 1.

## RESULTS AND DISCUSSION

The  $k_c$ ,  $\epsilon_{co}$  and n coefficients calculated from the data collected (Table 1) within the scope of the study. Using the data, the data obtained from the SeismoStruct software are presented on the graph together with the graphs obtained from the experimental results are given in Figure 3.

The results obtained by using the data obtained by the SeismoStruct software were mutually evaluated. A total of 5 graphs were calculated for each experimental element, with 3 strain hardening coefficient ( $\mu$ ) for Bilinear steel model and 2 n coefficients for Ramberg-Osgood. In addition, 3 coefficients were obtained during the comparisons.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.991166

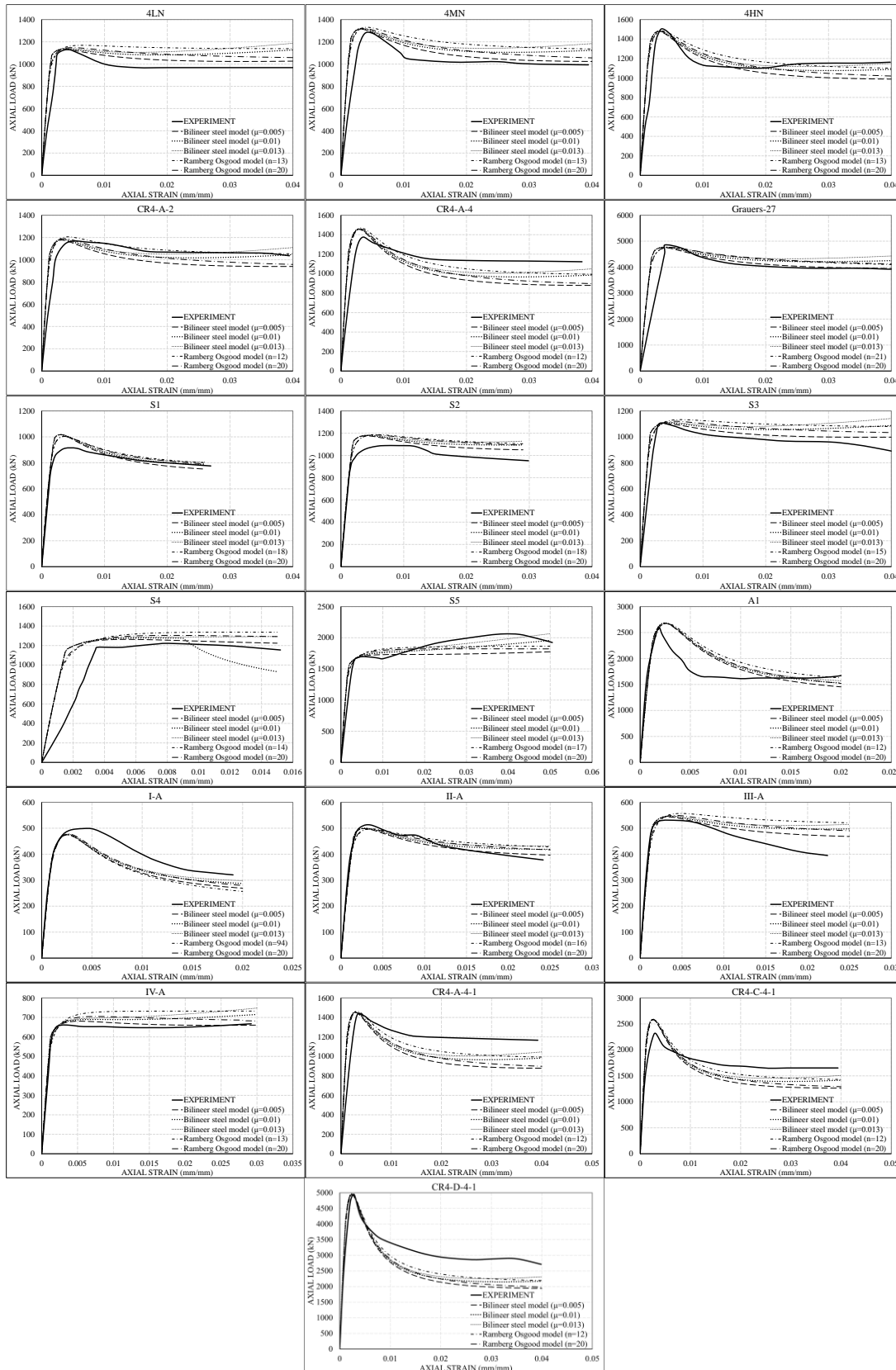


Figure 3. Axial displacement-load graph obtained from SeismoStruct software vs. experimental results



**Table 2.**  $N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$  coefficients

Specimen ID	$N_{ult,exp}$ (kN)	$N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$				
		Bilinear steel model			Ramberg Osgood model	
		$\mu=0.005$	$\mu=0.01$	$\mu=0.013$	$n_{calculated}$	$n=20$
4LN	1128.570	0.997	0.993	0.951	0.966	0.984
4MN	1278.570	0.973	0.969	0.967	0.961	0.968
4HN	1504.760	1.019	1.016	1.015	1.015	1.018
CR4-A-2	1167.860	0.992	0.988	0.985	0.968	0.982
CR4-A-4	1375.300	0.945	0.942	0.941	0.936	0.942
27	4850.950	1.020	1.017	1.015	1.019	1.019
S1	912.338	0.898	0.896	0.895	0.909	0.909
S2	1088.260	0.925	0.922	0.920	0.917	0.919
S3	1103.880	1.002	0.996	0.967	0.974	0.985
S4	1222.730	0.968	0.957	0.946	0.914	0.937
S5	2061.690	1.161	1.054	0.998	1.105	1.131
A1	2596.840	0.969	0.967	0.966	0.970	0.970
I-A	498.708	1.050	1.047	1.045	1.051	1.042
II-A	512.432	1.028	1.025	1.024	1.030	1.031
III-A	530.081	0.975	0.970	0.968	0.952	0.964
IV-A	667.442	0.981	0.933	0.892	0.911	0.947
CR4-A-4-1	1432.870	0.987	0.984	0.983	0.978	0.984
CR4-C-4-1	2318.060	0.896	0.894	0.893	0.895	0.898
CR4-D-4-1	4944.470	0.996	0.995	0.994	1.000	0.999

Firstly,  $N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$  are calculated (Table 2), while  $N_{ult,exp}$  and  $N_{ult,SeismoStruct}$  values represent the ultimate axial loading capacities obtained from experimental and SeismoStruct calculations, respectively. If the values of the  $N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$  parameter are examined, in the analysis obtained, the strain hardening coefficient for the Bilinear steel model is 0.005, with more than 52% of the samples reaching the values closest to the experimental data, but the obtained values converge between 0.2-7.5%. In the models made with  $n_{calculated}$  coefficients together with the Ramberg-Osgood model, only 10% gave the values closest to the experimental results. On the other hand, all the results obtained from theoretically converge to the experimental results between 0.04-16.1%. The highest diverge was obtained in the models made with  $n_{calculated}$  coefficients together with the Ramberg-Osgood model for 42% of the elements (Table 2).

Secondly,  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  values were calculated (Table 3), as average of the ratio of experimental axial loading capacities ( $N_{exp}$ ) to SeismoStruct experimental axial loading capacities ( $N_{SeismoStruct}$ ) for each increasing strain value of 0.001. The  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  value acts as a kind of scaling factor. It can be considered as a scale of experimental

graphic values to the values obtained from theoretical calculations. Similar to the  $N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$  parameter value, the highest convergence was observed in 52% of the elements when the  $\mu$  value used in the Bilinear steel model was 0.005. These convergence values vary between 2-17%. On the other hand, when the  $n_{calculated}$  parameter with Ramberg-Osgood is used, more than 63% of the theoretical modeling studies are among the most divergent values according to the experimental results, and this divergence rate is in the range of 6-22% (Table 3).

Finally, the  $A_{exp}/A_{SeismoStruct}$  coefficient (Table 4) indicates the ratio between the area under the graph obtained experimentally ( $A_{exp}$ ) and the area under the graph obtained theoretically from SeismoStruct ( $A_{SeismoStruct}$ ).  $A_{exp}/A_{SeismoStruct}$  value was evaluated as a second scaling coefficient within the scope of the study. It was evaluated as the ratio of the value of the area under the experimental axial displacement and load change graph to the value calculated as the graph area obtained from the theoretical calculations. Similar to the value of the  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  parameter, the highest convergence was observed in 52% of the elements when the  $\mu$  value used in the Bilinear steel model was 0.005. These convergence values vary

between 1.5-16%. On the other hand, when the  $n_{calculated}$  parameter with Ramberg-Osgood is used, more than 57% of the theoretical modeling studies are among the most divergent values according to the experimental results, and this divergence rate is in the range of 4-22%.

**Table 3.**  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  coefficients

Specimen ID	$N_{exp}/N_{SeismoStruct}$				
	Bilinear steel model			Ramberg Osgood model	
	$\mu=0.005$	$\mu=0.01$	$\mu=0.013$	$n_{calculated}$	$n=20$
4LN	0.920	0.879	0.856	0.846	0.886
4MN	0.908	0.868	0.847	0.836	0.875
4HN	1.026	0.978	0.953	0.942	0.988
CR4-A-2	1.037	0.984	0.956	0.942	1.002
CR4-A-4	1.094	1.035	1.004	0.990	1.056
27	0.951	0.913	0.892	0.918	0.914
S1	0.977	0.957	0.946	0.941	0.946
S2	0.919	0.902	0.889	0.887	0.893
S3	0.935	0.896	0.876	0.876	0.900
S4	0.852	0.916	0.829	0.810	0.825
S5	1.060	1.008	0.980	1.005	1.021
A1	0.943	0.923	0.911	0.886	0.917
I-A	1.093	1.065	1.048	1.111	1.062
II-A	0.958	0.936	0.924	0.915	0.928
III-A	0.826	0.807	0.796	0.776	0.800
IV-A	0.937	0.903	0.883	0.867	0.904
CR4-A-4-1	1.167	1.105	1.071	1.056	1.126
CR4-C-4-1	1.138	1.076	1.043	1.029	1.098
CR4-D-4-1	1.280	1.212	1.176	1.161	1.237

**Table 4.**  $A_{exp}/A_{SeismoStruct}$  coefficients

Specimen ID	$A_{exp}/A_{SeismoStruct}$				
	Bilinear steel model			Ramberg Osgood model	
	$\mu=0.005$	$\mu=0.01$	$\mu=0.013$	$n_{calculated}$	$n=20$
4LN	0.933	0.892	0.869	0.858	0.899
4MN	0.925	0.886	0.864	0.854	0.893
4HN	1.036	0.993	0.968	0.957	1.001
CR4-A-2	1.054	1.002	0.973	0.961	1.020
CR4-A-4	1.100	1.046	1.016	1.004	1.065
27	0.966	0.929	0.908	0.934	0.930
S1	0.985	0.967	0.956	0.951	0.956
S2	0.929	0.911	0.899	0.897	0.903
S3	0.949	0.911	0.889	0.890	0.915
S4	0.887	0.939	0.865	0.848	0.863
S5	1.078	1.025	0.996	1.022	1.039
A1	0.929	0.912	0.903	0.879	0.906
I-A	1.115	1.088	1.072	1.132	1.085
II-A	0.976	0.953	0.939	0.930	0.944
III-A	0.841	0.818	0.805	0.784	0.812
IV-A	0.953	0.917	0.896	0.879	0.919
CR4-A-4-1	1.171	1.115	1.084	1.069	1.133
CR4-C-4-1	1.126	1.074	1.045	1.031	1.091
CR4-D-4-1	1.251	1.198	1.168	1.153	1.214

Experimental studies on some parameter changes in the sample, such as b/t changes, have been made on the effect of these parameters. In the analytical analysis methods used in the studies examined, if new models are proposed to affect this parameter on material models, the convergence is greater (Sakino et al., 2004). However, only the general material model is available in SeismoStruct. The aim of the study is to model the behavior of composite sections easily by the user using practical material models. For this reason, it can be observed that there are divergences between analytical results and experimental results in some models.

## CONCLUSION

Experimental studies of CFST elements produced with SHS selected from the literature were re-examined using modeling techniques in SeismoStruct software. When the results of these material models and modeling technique, which are widely used in the literature, are examined comparatively within the scope of the study, the following conclusions are reached.

- When the  $\mu$  value used in the Bilinear steel model is taken as 0.005, the best convergences are obtained for  $N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$ ,  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  and  $A_{exp}/A_{SeismoStruct}$  parameters in many modeled elements. This value is frequently used in theoretical and analytical analysis in the literature.
- For the  $N_{ult,exp}/N_{ult,SeismoStruct}$  parameter, the change depends on the change in the  $\mu$  and  $n$  parameters, but diverges up to 16%. In addition, when we look at the general results, this value has an average of 4-5% convergence for all.
- When the  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  parameter is examined, the closest values are obtained when the  $\mu$  value used in the Bilinear steel model is taken as 0.005, while the most divergent values diverge up to 28% from the experimental data when the  $n$  value used in the Ramberg-Osgood steel model is taken as  $n_{calculated}$ . On the other hand, although there is an average of 8-10% error margin in  $\mu$  and  $n$  values, a convergence between 0.2-2.5% is

observed, but a divergence range of 20-28% is also observed.

- Finally, when the  $A_{exp}/A_{SeismoStruct}$  parameter is examined, the closest values are obtained when the  $\mu$  value used in the Bilinear steel model is taken as 0.005. Similar to the  $N_{exp}/N_{SeismoStruct}$  parameter, the most divergent values diverge up to 25% from the experimental data when the  $n$  value used in the Ramberg-Osgood steel model is taken as  $n_{calculated}$ . On the other hand, an average of 8-9.5% margin of error occurs in  $\mu$  and  $n$  values. In addition, while a convergence of 0.05-1.6% is observed in the most converging models, a divergence range of 19-25% is observed in the models where the largest differences occur.

## 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

- ACI 318-08. (2008). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary*.
- AISC. (2003). *Manual of steel construction, load and resistance factor design. Chicago: American Institute of Steel Construction, January*.
- Asteris, P. G., Lemonis, M. E., Nguyen, T. A., Le, H. V., & Pham, B. T. (2021). Soft computing-based estimation of ultimate axial load of rectangular concrete-filled steel tubes. *Steel and Composite Structures*, 39(4), 471-491.
- Ayough, P., Ibrahim, Z., Sulong, N. R., & Hsiao, P. C. (2021). The effects of cross-sectional shapes on the axial performance of concrete-filled steel tube columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 176, 106424.
- Baba, T., Inai, E., Kai, M., T, N., & Mukai, A. (1995). Structural behaviour of concrete filled steel tubular columns under axial compressive load, part 2: test results on rectangular columns. Abstracts of the Annual Convention of the Architectural Institute of Japan, 737-8.
- Ding, F. X., Lu, D. R., Bai, Y., Zhou, Q. S., Ni, M., Yu, Z.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.991166

- W., & Jiang, G. S. (2016). Comparative study of square stirrup-confined concrete-filled steel tubular stub columns under axial loading. *Thin-Walled Structures*, 98, 443–453. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2015.10.018>
- Elghazouli, A. Y., Castro, J. M., & Izzuddin, B. A. (2008). Seismic performance of composite moment-resisting frames. *Engineering structures*, 30(7), 1802–1819. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.12.004>
- Ellobody, E., & Young, B. (2006). Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns. *Thin-Walled Structures*, 44(8), 919–930. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2006.07.005>
- EN 1993-1-1. (2005). Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings. In CEN (Vol. 3). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- EN 1994-1-1. (2004). Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, 3(February), 33–38. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009305.pub2>
- Etli, S., & Güneş, E. M. (2020). Seismic performance evaluation of regular and irregular composite moment resisting frames. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 17(7), 1–22. <https://doi.org/10.1590/1679-78255969>
- Etli, S., & Güneş, E. M. (2021). Assessment of Seismic Behavior Factor of Code-Designed Steel–Concrete Composite Buildings. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(5), 4271–4292. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04913-9>
- Gadamchetty, G., Pandey, A., & Gawture, M. (2016). On Practical Implementation of the Ramberg-Osgood Model for FE Simulation. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(1), 200–205. <https://doi.org/10.4271/2015-01-9086>
- Ge, H. B., & Usami, T. (1994). Strength analysis of concrete-filled thin-walled steel box columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 30(3), 259–281. [https://doi.org/10.1016/0143-974X\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0143-974X(94)90003-5)
- Grauers, M. (1993). Composite columns of hollow steel sections filled with high strength concrete. Chalmers University, Göteborg, Sweden.
- Hajjar, J. F., Schiller, P. H., & Molodan, A. (1998). A distributed plasticity model for concrete-filled steel tube beam-columns with interlayer slip. *Engineering Structures*, 20(8), 663–676. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00107-7)
- Han, L. H., He, S. H., & Liao, F. Y. (2011). Performance and calculations of concrete filled steel tubes (CFST) under axial tension. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(11), 1699–1709. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.04.005>
- Han, L. H., Li, W., & Bjorhovde, R. (2014). Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. *Journal of Constructional Steel Research*, 100, 211–228. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.04.016>
- Han, L. H., Lu, H., Yao, G. H., & Liao, F. Y. (2006). Further study on the flexural behaviour of concrete-filled steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(6), 554–565. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.09.002>
- Han, L. H., Yao, G. H., & Tao, Z. (2007). Performance of concrete-filled thin-walled steel tubes under pure torsion. *Thin-Walled Structures*, 45(1), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2007.01.008>
- Hu, H.-T., Huang, C.-S., Wu, M.-H., & Wu, Y.-M. (2003). Nonlinear Analysis of Axially Loaded Concrete-Filled Tube Columns with Confinement Effect. *Journal of Structural Engineering*, 129(10), 1322–1329. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2003\)129:10\(1322\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2003)129:10(1322))
- Hu, H. T., Huang, C. S., & Chen, Z. L. (2005). Finite element analysis of CFT columns subjected to an axial compressive force and bending moment in combination. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(12), 1692–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.05.002>
- Kemp, A. R., Byfield, M. P., & Nethercot, D. A. (2002). Effect of strain hardening on flexural properties of steel beams. *Structural Engineer*, 80(8), 29–35.
- Lee, E.-T., Yun, B. H., Shim, H. J., Chang, K. H., & Lee, G. C. (2009). Torsional Behavior of Concrete-Filled Circular Steel Tube Columns. *Journal of Structural Engineering*, 135(10), 1250–1258. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2009\)135:10\(1250\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2009)135:10(1250))
- Li, P., Zhang, T., & Wang, C. (2018). Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4059675>
- Liang, Q. Q. (2009). Performance-based analysis of concrete-filled steel tubular beam-columns, Part I: Theory and algorithms. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(2), 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.03.007>
- Liang, Q. Q., & Fragomeni, S. (2009). Nonlinear analysis of circular concrete-filled steel tubular short columns under axial loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(12), 2186–2196. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.06.015>
- Ly, H. B., Pham, B. T., Le, L. M., Le, T. T., Le, V. M., & Asteris, P. G. (2021). Estimation of axial load-carrying capacity of concrete-filled steel tubes using surrogate models. *Neural Computing and Applications*, 33(8), 3437–3458.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.991166

- Concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804–1826. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1988)114:8(1804))
- Martínez-Rueda, J. E., & Elnashai, A. S. (1997). Confined concrete model under cyclic load. *Materials and Structures*, 30(3), 139–147. <https://doi.org/10.1007/BF02486385>
- Matsui, C. (1986). Strength and Deformation Capacity of Frames Composed of Wide Flange Beams and Concrete Filled Square Steel Tubular Columns. 169–181. [https://doi.org/10.3130/aijs.62.165\\_1](https://doi.org/10.3130/aijs.62.165_1)
- Ou, Z., Chen, B., Hsieh, K. H., Halling, M. W., & Barr, P. J. (2011). Experimental and Analytical Investigation of Concrete Filled Steel Tubular Columns. *Journal of Structural Engineering*, 137(6), 635–645. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000320](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000320)
- Perea, T., Leon, R. T., Hajjar, J. F., & Denavit, M. D. (2013). Full-Scale Tests of Slender Concrete-Filled Tubes: Axial Behavior. *Journal of Structural Engineering*, 139(7), 1249–1262. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000784](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000784)
- Richart, F. ., Brandzaeg, A., & Brown, R. L. (2005). The failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression. *ACI Materials Journal*, 10(29), 45–52.
- Sakino, K., & Ishibashi, H. (1985). Experimental Studies on Concrete Filled Square Steel Tubular Short Columns Subjected To Cyclic Shearing Force and Constant Axial Force. *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, 353(0), 81–91. [https://doi.org/10.3130/aijsx.353.0\\_81](https://doi.org/10.3130/aijsx.353.0_81)
- Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S., & Nishiyama, I. (2004). Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns. *Journal of Structural Engineering*, 130(2), 180–188. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2004\)130:2\(180\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2004)130:2(180))
- Schneider, S. P. (1998). Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes. *Journal of Structural Engineering*, 124(10), 1125–1138. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1998\)124:10\(1125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:10(1125))
- Seismosoft. (2018). SeismoStruct A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures V 7.0. [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com)
- Shanmugam, N. E., & Lakshmi, B. (2001). State of the art report on steel-concrete composite columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(10), 1041–1080. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00021-9)
- Srinivasan, C. N., & Schneider, S. P. (1999). Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes. *Journal of Structural Engineering*, 125(10), 1202–1206. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1999\)125:10\(1202\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1999)125:10(1202))
- Thai, H. T., & Kim, S. E. (2011). Nonlinear inelastic analysis of concrete-filled steel tubular frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(12), 1797–1805. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.05.004>
- Tomii, M., & Kenji, S. (1979). Elasto-plastic behavior of concrete filled square steel tubular beam-columns. *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, 280, 111–122.
- Tomii, M., & Sakino, K. (1979). Experimental Studies on the Ultimate Moment of Concrete Filled Square Steel Tubular Beam-Columns. *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, 275(0), 55–65. [https://doi.org/10.3130/aijsaxx.275.0\\_55](https://doi.org/10.3130/aijsaxx.275.0_55)
- Tomii, M., Yoshimura, K., & Morishita, Y. (1977). Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns Under Concentric Loading. *International Colloquium on Stability of Structures under Static and Dynamic Loads*, 718–741.
- Wang, F. (2011). A deformation based approach to structural steel design. Imperial College London, PhD thesis.