



**MUNZUR**  
ÜNİVERSİTESİ  
2008

ISSN: 2149-0910  
VOLUME: 9 ISSUE: 1  
YEAR:2023

# INTERNATIONAL JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES



0428 213 17 94

ijpas@munzur.edu.tr

[www.munzur.edu.tr](http://www.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. Kenan PEKER

*Rector*

**Editors**

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

*Institute of Graduate Studies*

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

Assist. Prof. Dr. Çağlar Mert AYDIN, Munzur University, Tunceli, Turkey

*[cmaydin@munzur.edu.tr](mailto:cmaydin@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. Kenan PEKER  
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

Munzur University, Tunceli, Turkey  
Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey  
Akdeniz University, Antalya, Turkey  
Firat 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

## **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

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*

Image Encryption Algorithm Based on Cryptological Keys Generated by Optimization Algorithms Optimizasyon Algoritmaları ile Üretilen Kriptolojik Anahtarları Temel Alan Görüntü Şifreleme Algoritması <b>Eyüp Eroz, Erkan Tanyıldız.....</b>	<b>1-6</b>
Forecasting Wind Power Generation Using Artificial Neural Network Yapay Sinir Ağı Kullanımı ile Rüzgar Enerjisi Üretimi Tahmini <b>Ayhan Tokmak, İlyas Atalay, Övgü Ceyda Yelgel.....</b>	<b>7-19</b>
Mining the Employee Suggestions through Topic Modeling: An Automotive Industry Case Konu Modelleme ile Çalışan Önerileri Madenciliği: Bir Otomotiv Endüstrisi Vakası <b>Mine Bozan, Koray Altun.....</b>	<b>20-28</b>
Analysis of the Essential Oil Composition, Antimicrobial Activity and Antioxidant Capacity of <i>Fumaria asepsala</i> Boiss. and <i>Fumaria schleicheri</i> Soy. Will. subsp. <i>microcarpa</i> Hausskn. from Turkey Türkiye'den <i>Fumaria asepsala</i> Boiss. ve <i>Fumaria schleicheri</i> Soy.-Will. subsp. <i>microcarpa</i> Hausskn. 'nın Uçucu Yağ Bileşenleri ile Antimikrobiyal Aktivitesi ve Antioksidan Kapasitesinin Analizi <b>Pelin Yılmaz Sancar.....</b>	<b>29-37</b>
Investigation of Pectin Production by Ohmic Heating Assisted Extraction Method Using Different Types of Acids from Lemon Peel Powder Limon Kabuğu Tozundan Farklı Asit Türleri Kullanılarak Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ile Pektin Üretiminin İncelenmesi <b>Mutlu Çevik, Serdal Sabancı, Ali Gökso.....</b>	<b>38-45</b>
A New Method Based on Extracting, Combining and Selecting Deep Features from Natural and Synthetic Data for Classification of Grapevine Leaf Species Asma Yaprağı Türünün Sınıflandırılması için Doğal ve Sentetik Verilerden Derin Öznitelikler Çıkarma, Birleştirme ve Seçmeye Dayalı Yeni Bir Yöntem <b>Andaç İmak, Gürkan Doğan, Abdulkadir Şengür, Burhan Ergen.....</b>	<b>46-55</b>
Determination of Constituents of Extract of <i>Celtis tournefortii</i> Lam. by LC-MS/MS, Investigation of Enzyme Inhibition, Antimicrobial and Anticancer Effects <i>Celtis tournefortii</i> Lam Yaprak Özütünün Bileşenlerinin LC-MS/MS Aracılığıyla Belirlenmesi, Enzim İnhibisyonunun, Antimikrobiyal ve Antikanser Etkilerinin Araştırılması <b>Ayşe Baran, Cumali Keskin.....</b>	<b>56-65</b>
Storage Stability of Seed Oils Extracted from Red Pepper ( <i>Capsicum annuum</i> L.) Waste by a Green Approach Yeşil Bir Yaklaşımla Kırmızı Biber ( <i>Capsicum annuum</i> L.) Atıklarından Elde Edilen Çekirdek Yağlarının Depolama Kararlılığı <b>Ayşe Burcu Atalay, Ahmet Levent İnanç.....</b>	<b>66-75</b>



Active Wheelchair Selection for the Physical Disabled with Analytical Network Process, TOPSIS and PROMETHEE Methods Analitik Ağ Süreci, TOPSIS ve PROMETHEE Yöntemleri ile Fiziksel Engelliler için Aktif Tekerlekli Sandalye Seçimi <b>Mehmet Tan, Emre Yazıcı, Hacı Mehmet Alakaş.....</b>	<b>76-87</b>
Improved Torque and Speed Performances for DTC Controlled Asynchronous Machine By Fuzzy Switching Algorithm Bulanık Anahtarlama Algoritması ile DTC Kontrollü Asenkron Makine için İyileştirilmiş Tork ve Hız Performansları <b>Goksu Gorel, Wahib Hilouan Mohamed.....</b>	<b>88-98</b>
Rotational-Vibrational Energy Levels for the $X^1\Sigma^+$ State of RbH Molecule RbH Molekülünün $X^1\Sigma^+$ Durumu için Dönme-Titreşim Enerji Seviyeleri <b>Hilmi Yanar.....</b>	<b>99-106</b>
Protective Effect of Bay Leaf Essential Oil on Shelf Life of Rainbow Trout ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum, 1792) Stored at + 4 ° C Defne Yaprağı Esansiyel Yağının +4°C'de Muhafaza Edilen Gökkuşuğu Alabalığı ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum,1792) Filetolarının Raf Ömrü Üzerine Koruyucu Etkisi <b>Nermin Karaton Kuzgun.....</b>	<b>107-114</b>
Vibration Control of A Beam Under A Moving Mass Through Adjusting Trapezoidal Velocity Profile Trapez Hız Profilinin Ayarlanması Yoluyla Hareketli Bir Kütle Altındaki Kirişin Titreşim Kontrolü <b>Hira Karagülle, Murat Akdağ.....</b>	<b>115-126</b>
Investigation of Mechanical Properties of Sandwich Composites with Notched Grooves on Lateral Surfaces Under Axial Loads Yanal Yüzeylerinden Çentik Kanal Açılan Sandviç Kompozitlerin Eksenel Darbe Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi <b>Sermet Demir, Uğur Kemiklioğlu.....</b>	<b>127-134</b>
Investigation of Use Levels of Hazelnut Oil Cake and Zeolite in Rainbow Trout ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) Diets Fındık Küspesi ve Zeolitin Gökkuşuğu Alabalığı ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) Diyetlerinde Kullanım Düzeylerinin Araştırılması <b>Emine Özpolat, Gürel Nedim Örnekcı, Gülüzar Tuna Keleştemur, Durali Danabaş, Ali Atilla Uslu.....</b>	<b>135-146</b>
Modelling and Simulation of Single Phase Z-Source Matrix Converter Tek Fazlı Z-Kaynaklı Matris Dönüştürücü Modellenmesi ve Simülasyonu <b>Zeynep Bala Duranay, Hanifi Güldemir.....</b>	<b>147-156</b>
Investigation of Impact Value and Water Absorption Performance on Pumice Aggregates Coated with Cement Paste Çimento Hamuruyla Kaplanmış Pomza Agregalarının Su Emme ve Darbe Dayanımı Performanslarının İncelenmesi <b>Alper Tunga Özgüler, Turgay Göncüoğlu, Mehmet Emiroğlu.....</b>	<b>157-164</b>

Toxic Elements from Critical Raw Materials Group in Ripe and Unripe Tomatoes in A Contaminated Area: Accumulation and Potential Health Risk Assessment Kirlenmiş Bir Alanda Olgun ve Olgunlaşmamış Domateslerdeki Kritik Hammadde Grubundan Toksik Elementler: Birikim ve Potansiyel Sağlık Riski Değerlendirmesi <b>Murat Topal, E. Işıl Arslan Topal, Erdal Öbek.....</b>	<b>165-174</b>
Classification of News Texts with GloVe Word Embeddings and Neural Networks GloVe Kelime Gömmeleri ve Sinir Ağları ile Haber Metinlerinin Sınıflandırılması <b>Hülya Hark, Meral Karakurt, Cengiz Hark, Ali Karcı.....</b>	<b>175-187</b>
Circularly Polarized High Harmonics in Argon: Dipole and Non-Dipole Effect Argonda Dairesel Polarize Yüksek Harmonikler: Dipol ve Dipol Olmayan Etki <b>Dilan Alp, İlhan Candan.....</b>	<b>188-196</b>
On Sum of Fuzzy Topological Spaces Bulanık Topolojik Uzayların Toplamları Üzerine <b>Arife Atay, Farah Alşibli.....</b>	<b>197-208</b>
Comparison of Performance of Classification Algorithms Using Standard Deviation-based Feature Selection in Cyber Attack Datasets Siber Saldırı Veri Kümelerinde Standart Sapmaya Dayalı Öznitelik Seçimi Kullanan Sınıflandırma Algoritmalarının Performanslarının Karşılaştırması <b>Ali Şenol.....</b>	<b>209-222</b>

## Optimizasyon Algoritmaları ile Üretilen Kriptolojik Anahtarları Temel Alan Görüntü Şifreleme Algoritması

Eyüp Eroz\*, Erkan Tanyıldız

Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye

\*eroz@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, etanyildizi@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 30.09.2022, Makale kabul tarihi: 10.11.2022

### Öz

Veri şifreleme ve sıkıştırma gereksinimlerini sağlayan bir görüntü şifreleme algoritması önerilmiştir. Şifreleme algoritmalarının en önemli aşaması güvenilir, tahmin edilemez ve rastgele anahtar üretme işlemidir. Önerdiğimiz yöntemde, verilerin şifreleme kısmında kullanılan anahtar üretim algoritması için optimizasyon temelli bir anahtar üretici kullanılmıştır. Kullandığımız tek kullanımlık şerit prensibine dayanan rastgele sayı üretici yöntem, her seferinde farklı rastgele anahtar üretmek koşulsuz güven sağlamaktadır. Optimizasyon temelli anahtar üreticinin elde ettiği istatistiksel başarılar görüntü şifreleme alanında da kendini göstermektedir. Değişken piksel hızı sayısı (NPCR), birleşik ortalama değişen yoğunluk (UACI) ve histogramı analizi gibi analiz yöntemleri ile görüntü şifreleme alanlarında başarıları incelenmiştir. Elde edilen başarılı sonuçlar, önerilen anahtar üretiminin görüntü şifreleme alanında da kullanılabilir güvenli bir anahtar üretici olduğu ortaya koyulmuştur. Dolayısıyla kriptografik diğer pek çok alanda da optimizasyon temelli rastgele sayı üreticinin kullanılabilceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** LFSR, görüntü şifreleme, bilgi güvenliği, optimizasyon, rastgele

## Image Encryption Algorithm Based on Cryptological Keys Generated by Optimization Algorithms

### Abstract

An image encryption algorithm has been proposed that satisfies the data encryption and compression requirements. The most important stage of encryption algorithms is reliable, unpredictable and random key generation. In our proposed method, an optimization-based key generator is used for the key generation algorithm used in the encryption part of the data. The random number generator method based on the disposable strip principle we use provides unconditional trust by generating different random keys each time. The statistical achievements of the optimization-based key generator also show themselves in the field of image encryption. Its success in image coding has been examined with analysis methods such as The number of changing pixel rate (NPCR), the unified averaged changed intensity (UACI) and histogram analysis. The successful results show that the proposed key generation is a secure key generator that can also be used in the field of image encryption. Therefore, it has been seen that optimization-based random number generator can be used in many other cryptographic fields.

**Keywords:** LFSR, image encryption, information security, optimization, randomness

### GİRİŞ

Rastgelelik, tüm araştırma alanlarında pek çok araştırmacının çıktılarının başarısını etkileyen önemli bir özellik olmuştur. Rastgelelik kavramının temel gereksinimlerini karşılamak ise tek başına bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu doğrultuda, yıllarca pek çok rastgele sayı üretici (RNG) geliştirilmiş ve önerilmiştir (Robshaw and Billet 2008; Garipcan ve Erdem, 2019). Rastgele sayı

üreteçleri arasında en dikkat çekicisi ise Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Yazmaç (LFSR) olmuştur (Garipcan ve Erdem, 2020). LFSR yapısı, rastgelelik gereksinimleri için temel kabul edilen istatistiksel gereksinimleri sağlayabildiği için birçok pratik uygulamada ilk tercih edilen üreteçlerden biri olmuştur. LFSR üreticinin en önemli sorunlarından biri uzun bit dizelerini üretmek için hangi

konfigürasyonların kullanılacağını belirlemektir. Çünkü bit dizisinin uzunluğu, konfigürasyonda kullanılan flip-flop sayısı ile ilgilidir. Flip-flop sayısı elde edilecek bit uzunluğu ile doğru orantılı olduğu için, flip-flop sayısı arttıkça hangi konfigürasyonun uygun olacağını belirlemenin karmaşıklığı da artacaktır (Sheveleva ve Balyaev, 2021; Asif ve Baig, 2009).

Büyük veri kavramı günlük yaşantımızın önemli bir parçası haline gelmektedir. Dolayısıyla bilgi güvenliği, dijital verilerimizi güvence altına almak gibi kavramlar ön plana çıkarılmaktadır. Bu bilgi güvenliğini sağlamak için kriptografik protokoller yani şifreleme algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmamızda bilgi güvenliği kavramının bir parçası olan görüntü şifreleme algoritmalarına odaklanılmıştır. Geçmiş çalışmalarımızda NP problemlerin çözümü için önerdiğimiz optimizasyona dayalı yaklaşımın başarısı istatistiksel olarak gösterilmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlarının gerçek hayattaki kriptografik problemler üzerindeki etkisini görmek için görüntü şifreleme alanına uygulanmıştır (Eröz ve Tanyıldızı, 2021).

Çalışmamızın ikinci bölümünde önemli rastgele sayı üreteci olan LFSR tanıtılmış, üçüncü bölümünde rastgele sayı üretiminde kullandığımız optimizasyon algoritması olan ikili yarasa algoritmasına değinilmiştir, dördüncü bölümünde hibrit görüntü şifreleme algoritmamızın uygulanması anlatılmış, beşinci bölümde analiz sonuçlarına bakılarak altıncı bölümde genel sonuç değerlendirilmiştir.

### Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Yazmaç

Rastgele sayı üreteçleri içerisinde önemli yere sahip olan LFSR, flip-flop'lar ve geri besleme yolundan oluşur. 1-bit depolama alanı olan flip-flop sayısı LFSR derecesini vermektedir. Yani, m adet flip-flop'tan oluşan bir LFSR'nin derecesi de m olur (Schindler, 2009; Stipcevic 2014). Belirli flip-flop'ların XOR toplamının sonucu son flip-flop'un girişidir. Bu giriş de geri besleme yolu sayesinde tetiklenmektedir. Şekil 1'de 3 sıralı basit bir LFSR yapısı görülmektedir.

Şekil 1'deki konfigürasyon için 110 başlangıç tohum değerleri kullanılırsa, elde edilecek rastgele bit dizisinin çıkışı 0110110101101101011... olacaktır. Verilen örnekte başlangıç tohumu 3 bit olması 3 adet flip-flop kullanılacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, LFSR derecesi de 3 olduğundan elde edilen maksimum bit uzunluğu  $2^3-1=7$  olacaktır. 8.

değerden sonra dizi kendini tekrar edecektir (Garipcan ve Erdem, 2020).

Belirtilen LFSR çalışma mantığını genel bir yapıda tanımlayacak olursak, Şekil 2'deki gibi m dereceli bir LFSR genel formu oluşturulabilmektedir. Bir geri besleme yolunun aktif olup olmadığı p geri besleme katsayısı ile tanımlanmaktadır. 1 olursa anahtar kapalı ve geri besleme yolu aktif anlamına gelirken, 0 olduğunda ise geri besleme yolu pasif anlamına gelmektedir.

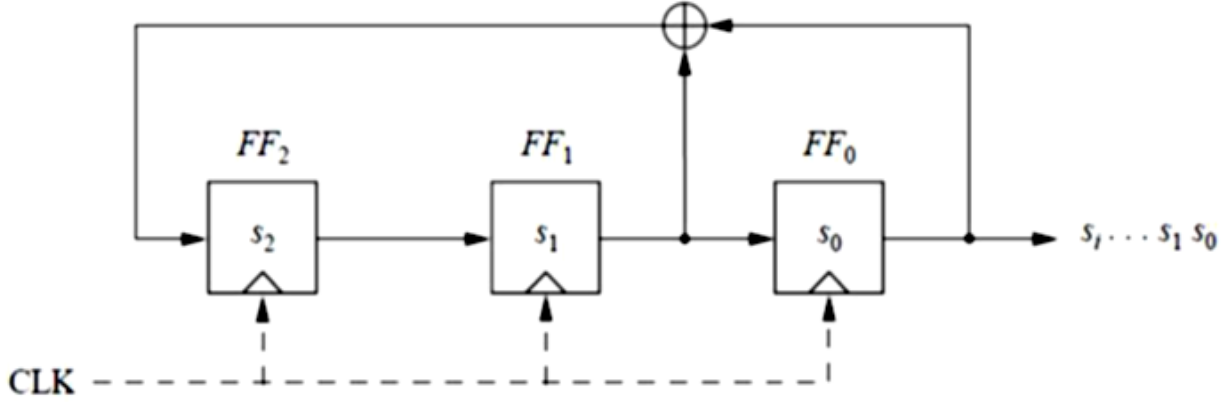
### İkili Yarasa Algoritması (BBA)

Yarasa algoritması literatürde önemli bir optimizasyon algoritmasıdır. Başarılı optimizasyon algoritması 0/1, Evet/Hayır vb. döndürmektedir. Problemlere uygun çözümler sunabilmek için ikili optimizasyon problemlerine uygun hale getirilmiştir. İkili arama uzayı bir hiperküp olarak düşünülebilir. İkili optimizasyon algoritmasının arama araçları (parçacıkları), değişen sayıda biti çevirebilir ve bu bitleri yalnızca bu hiperküpe yakın ve uzak köşelerine kaydırabilmektedir (Kennedy ve Eberhart, 1997). Bu nedenle, İkili yarasa algoritmasındaki hız ve konum güncelleme denklemleri, ikili arama uzayına uyacak şekilde değiştirilmelidir. İkili arama uzayında konumları 0'dan 1'e veya tam tersi şekilde güncellemek için, hız ile konum güncelleme arasında bir bağlantı olacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Ayrık ikili uzayda, konum güncelleme 0-1 değerleri arasında geçiş yapmak anlamına gelir ve bu, arama ajanlarının hızına göre yapılmalıdır. Konumları güncellemek için hız değerlerini olasılık değerlerine eşlemek için bir transfer fonksiyonu gerekmektedir. Bu transfer fonksiyonu, parçacıkların ikili uzayda hareket etmesine izin verir. Rashedi ve diğerleri, hız değerlerini olasılık değerleriyle eşleştirmek için bir transfer fonksiyonu seçerken aşağıdaki kavramlar dikkate alınmalıdır (Rashedi, 2009).

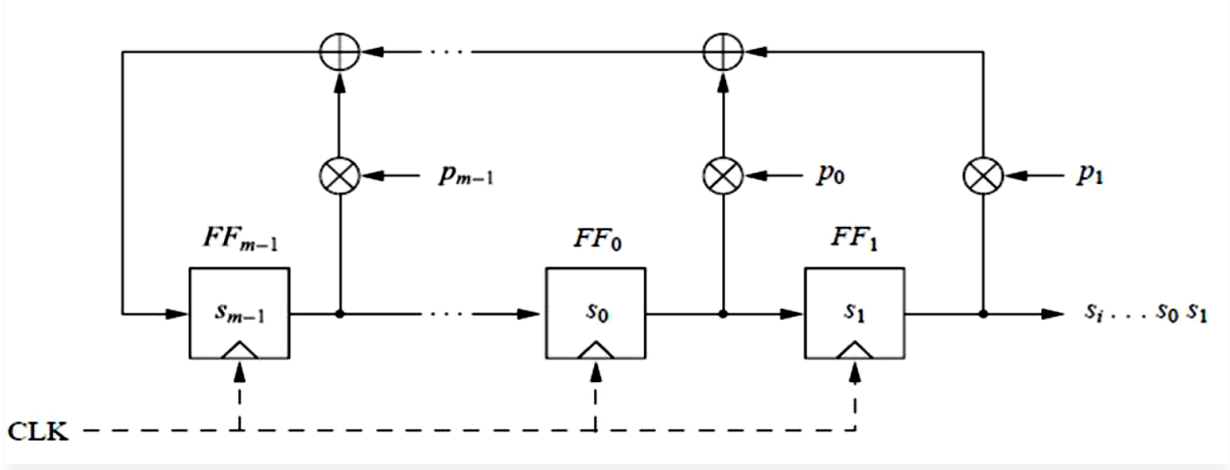
BBO için kullanılan transfer fonksiyonu Denklem 1 olarak verilmektedir (Kennedy ve Eberhart, 1997).

$$S(v_i^k(t)) = \frac{1}{1+e^{-v_i^k(t)}} \quad (1)$$

Transfer fonksiyonlarını kullanarak olasılıkları hesapladıktan sonra, Denklem 2'deki gibi parçacıkların konumunu güncellemek için yeni bir konum güncelleme denklemi gerekmektedir (Mirjalili, 2014).



Şekil 1. LFSR temel yapısı



Şekil 2. LFSR genel yapısı

$$x_i^k(t+1) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } rand < S(v_i^k(t)) \\ 1 & \text{eğer } rand \geq S(v_i^k(t)) \end{cases} \quad (2)$$

$$x_i^k(t+1) = \begin{cases} x_i^k(t)^{-1} & \text{eğer } rand < V(v_i^k(t)) \\ x_i^k(t) & \text{eğer } rand \geq V(v_i^k(t)) \end{cases} \quad (4)$$

yöntemin bir dezavantajı parçacıkların 0 veya 1 değerlerini almaya zorlanmasıdır. Böylece hız değerleri arttığında parçacıklar konumlarında değişmeden kalırlar. Bununla birlikte, yukarıda bahsedilen kavramlara göre, bir transfer fonksiyonu tasarlamının daha iyi bir yolu, yüksek hızlı parçacıkları konumlarını değiştirmeye zorlamaktır. Bu nedenle, v-şekilli bir transfer fonksiyonu ve konum güncelleme kuralı Denklem 3 ve 4'deki gibi uygulanmaktadır.

$$V(v_i^k(t)) = \left\lfloor \frac{2}{\pi} \arctan \left( \frac{\pi}{2} v_i^k(t) \right) \right\rfloor \quad (3)$$

### ÖNERİLEN ALGORİTMA

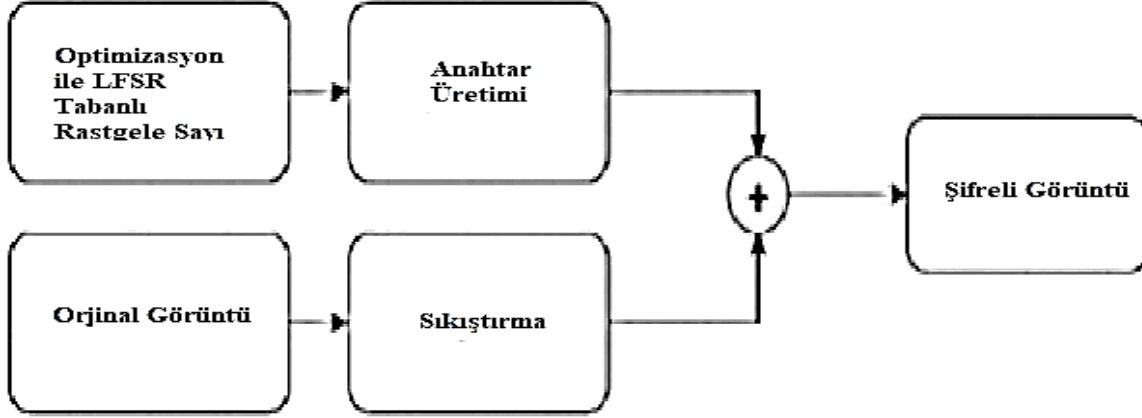
Önerilen görüntü şifreleme algoritmasına genel bakış şekilde gösterilmektedir. Algoritma kriptografik olarak tek kullanımlık şerit prensibine dayanmaktadır. Bu şifreleme protokolü ilk olarak Vernam tarafından önerilmiştir (Paar, 2010). Protokol XOR yöntemi ile uygulanmaktadır. XOR yöntemi çalışma prensibi; iki bit değerini girdi olarak alır ve bir bitlik çıktı üretir. Toplam 4 çıkış bulunmaktadır. Çıkışlarda sadece 1 veya 0 değeri üretilmektedir. Bu nedenle olasılık %50'dir (Burhan, Artuğer ve Ozkaynak 2019).

Daha spesifik olarak, şifrelenmiş görüntü bir bit dizisi olarak ifade edilir. Bu bit dizisi uzunluğunda bir anahtar dizisi oluşturulur. Ortaya çıkan iki bit dizisi,

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1182404

XOR işleneninin girişi olarak uygulanır ve şifreli bir diziyle sonuçlanır. Bu şifreleme protokolü, her bir anahtar dizisinin bir kez kullanılması durumunda koşulsuz olarak güvenlidir. Şifreleme protokolünün güvenli olmasının en önemli kısmı rastgele anahtar üretme aşamasıdır. Kriptografik işlemlerde rastgele anahtar üreticinin önemi büyüktür. Kriptografik

anahtarlarda olması gereken en önemli özellikler rastgele ve tahmin edilemez olmasıdır. Dolayısıyla böyle bir kriptografik anahtarın üretilmesinde önerdiğimiz yöntem optimizasyon temelli doğrusal geri beslemeleri kaydırmalı yazmaç (LFSR) üreticidir.



Şekil 3. Önerilen görüntü şifreleme algoritmasının genel yapısı (Burhan, Artuğer ve Ozkaynak 2019)

Görüntü şifreleme algoritması için önerilen yöntemde gerekli olan anahtar üretimi kısmında optimizasyon temelli LFSR üretici yöntemimiz ile güvenli bir algoritma elde edilmiştir.

Önerdiğimiz optimizasyon algoritmaları üretilen kriptografik anahtarları temel alan görüntü şifreleme algoritmasının temel adımları şu şekilde olacaktır;

1) Orijinal görüntü, JPEG veya fraktal sıkıştırma algoritması kullanılarak sıkıştırılır. Bu adımla şifrelenecek piksel sayısı p azaltılır.

2) Optimizasyon algoritmasının başlangıç koşul ve parametreleri kontrol edilir.

3) LFSR tabanlı rastgele sayı üretici istenilen flip-flop sayısında çalıştırılır

4) 0/1 lerden oluşan rastgele bit dizisi oluşturulur.

5) Elde edilen bitler 8 bitlik gruplara ayrılır ve gruplar 0-255 arasında tam sayı değerlere dönüştürülür. Bu değerler algoritmanın gizli anahtarlarıdır.

6) Piksel değerleri ve anahtar değerleri için XOR işlemi kullanılarak şifrelenmiş değerler elde edilir.

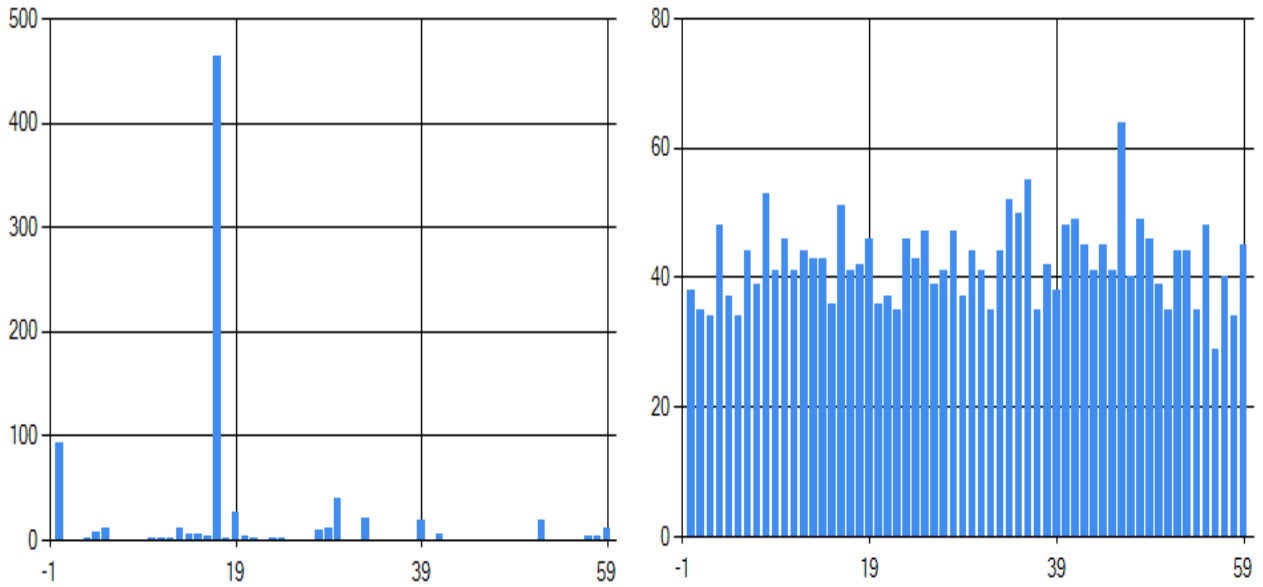
#### ANALİZ SONUÇLARI

Önerilen görüntü şifreleme algoritmasının sonuçları analiz edilirken histogram, NPCR ve UACI ölçümleri kullanılmıştır. Analiz yapılırken düşük boyutlu görüntü kullanılmıştır. Orijinal görüntü boyutu ile şifrelenmiş görüntü boyutları birbirine eşittir. Dolayısıyla boyutsal anlamda kayıp oluşmamıştır. Elde edilen şifreleme algoritmasının küçük ölçekli görüntülerdeki başarısı gösterilmiştir. Analizde kullanılan orijinal görüntü Şekil 4' te verilmiştir.

Bu görüntülerin histogram analizi Şekil 5'te verilmiştir. Orijinal görüntülerin histogram dağılımında bir korelasyon vardır. Ancak, şifrelenmiş görüntülerin histogram dağılımından herhangi bir çıkarım yapılamaz. NPCR ve UACI ölçütlerinin ideal değerleri sırasıyla 1 ve 0.33' tür (Özkaynak, 2017). Bizim şifreleme algoritmamızın sonucunda NPCR değeri 0.9962 iken UACI değeri de 0.3362 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. a) orijinal görüntü b) şifrelenmiş görüntü



Şekil 5. a) orijinal görüntü histogramı b) şifrelenmiş görüntü histogramı

## SONUÇLAR

Çalışmamızda hibrit bir görüntü işleme algoritması önerilmiştir. Önerilen yöntemde şifrelenecek anahtar üretim kısmında optimizasyon tabanlı rastgele sayı üretici kullanılmıştır. Geçmiş çalışmalarımızda oldukça iyi istatistik gösteren anahtar üreticimiz ile görüntü şifreleme işlemindeki güvenliği artırma hedeflenmiştir. Elde edilen rastgele anahtar ile şifrelenen görüntünün histogramı, Değişken piksel hızı sayısı (NPCR) ve birleşik ortalama değişen yoğunluk (UACI) ölçütleri ile analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, rastgele ürettiğimiz anahtarın küçük ölçekli görüntüleri şifrelemede de oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemler sonucunda, anahtar üreticinin daha büyük boyutlardaki görüntülerin şifrelenmesinde de başarılı olabileceği

düşünülmektedir. Bilgi güvenliğinin bir parçası olan görüntü şifreleme üzerinde elde edilen bu başarı doğrultusunda, önerdiğimiz anahtar üretici yönteminin diğer birçok alanda da etkili sonuçlar elde edebileceği ve gelecek çalışmalarda uygulanabilir ve kullanılabilir etkili bir anahtarlar üretebileceği sonucuna varılmıştır.

## 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.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1182404

## KAYNAKLAR

- Asif, M. ve Baig, R., (2009). "Solving NP-complete problem using ACO algorithm," 2009 International Conference on Emerging Technologies, pp. 13-16, doi: 10.1109/ICET.2009.5353209.
- Burhan, Y., Artuger, F. ve Ozkaynak, F., (2019). "A Novel Hybrid Image Encryption Algorithm Based on Data Compression and Chaotic Key Planning Algorithms," 2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), pp. 1-5, doi: 10.1109/ISDFS.2019.8757530.
- Eröz, E., Tanyıldızı, E. ve F. Özkaynak, (2021). "Determination of Suitable Configuration Parameters for Linear Feedback Shift Register using Binary Bat Optimization Algorithm," IEEE EUROCON 2021 - 19th International Conference on Smart Technologies, pp. 348-351, doi: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535616.
- Garipcan, A. M. ve Erdem, E., (2019). Implementation and Performance Analysis of True Random Number Generator on FPGA Environment by Using Non-periodic Chaotic Signals Obtained from Chaotic Maps. Arab J Sci Eng 44, 9427–9441. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04027-x>
- Garipcan A. M. ve Erdem E., (2020). A TRNG using chaotic entropy pool as a post-processing technique: analysis, design and FPGA implementation. Analog Integr Circ Sig Process 103, 391–410. <https://doi.org/10.1007/s10470-020-01605-0>
- Kennedy, J. ve Eberhart, R. C., (1997). A discrete binary version of the particle swarm algorithm. In: IEEE international conference on computational cybernetics and simulation, pp 4104–4108.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M. ve Yang, X.S., (2014). Binary bat algorithm, Neural Comput. Appl. 25, 663–681.
- Özkaynak, F., (2017). Role of NPCR and UACI tests in security problems of chaos based image encryption algorithms and possible solution proposals, 2017 International Conference on Computer Science and Engineering.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour H. ve Saryazdi S., (2009). BGSA: binary gravitational search algorithm. Nat Comput 9:727–745.
- Robshaw, M. ve Billet, O., editors. (2008). New Stream Cipher Designs: The eSTREAM Finalists, volume 4986 of LNCS. Springer.
- Schindler, W., (2009). "Random number generators for cryptographic applications", C.K. Koc (ed.): Cryptographic Engineering. Springer, Signals and Communication Theory, Berlin, DOI: 10.1007/978-0-387-71817-0\_2.
- Sheveleva, A. M. ve Belyaev, S. A., (2021). "Development of the Software for Solving the Knapsack Problem by Solving the Traveling Salesman Problem," 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), pp. 652-656, doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396448..
- Stipčević, M. ve Koç, Ç. K., (2014). "True random number generators", in Koç Ç. K. (eds) Open Problems in Mathematics and Computational Science. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-106830\_12.
- Paar, C. ve Pelzl, J., (2010). Understanding Cryptography A Textbook for Student and Practitioners, Springer.



## Forecasting Wind Power Generation Using Artificial Neural Network

Ayhan Tokmak, İlyas Atalay, Övgü Ceyda Yelgel\*

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering,  
Rize, Türkiye

ayhan\_tokmak17@erdogan.edu.tr<sup>ID</sup>, İlyas\_atalay16@erdogan.edu.tr<sup>ID</sup>, \*oceyda.yelgel@erdogan.edu.tr<sup>ID</sup>

Received date: 13.09.2022, Accepted date: 14.11.2022

### Abstract

Today, among renewable energy sources, wind energy is used effectively as a clean and sustainable energy source in electricity generation. The uncertain nature of renewable energy sources and the smart ability of the neural network approach to process complex time series inputs have allowed the use of artificial neural network (ANN) methods in the prediction of renewable energy generation. In this study, the speed and power of wind turbines and electricity generation were estimated from wind speed data using artificial neural networks. In our calculations, the real wind speed data were used in the test phase, and the speed-power data of six different types of wind turbines were used in the training phase. It has been shown that the predictions made by our ANN model from the regression curves of the training, validation, and test data obtained are quite successful and reliable. According to our results, it has been understood that the wind potential of our selected region is good enough and that the electrical energy need for this region can be met from wind energy by using the appropriate wind turbine type, so it is quite appropriate to invest in wind energy.

**Keywords:** artificial neural networks, renewable energy sources, artificial intelligence, wind turbines, wind speed

## Yapay Sinir Ağı Kullanımı ile Rüzgar Enerjisi Üretimi Tahmini

### Öz

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgar enerjisi, elektrik enerji üretiminde temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak etkin olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsiz doğası ve sinir ağı yaklaşımının karmaşık zaman serisi girdilerini işleme konusundaki akıllı yeteneği, yenilenebilir enerji üretimi tahmininde yapay sinir ağı (YSA) yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarını kullanarak rüzgâr hızı verisinden, rüzgâr türbinlerinin hızları ve güçleri ile elektrik üretimi tahmin edilmiştir. Hesaplamalarımızda test aşamasında gerçek rüzgar hızı verileri, eğitim aşamasında ise altı farklı rüzgar türbininin hız-güç verisi kullanılmıştır. Elde edilen eğitim, doğrulama ve test verilerinin regresyon eğrilerinden YSA modelimizin yaptığı tahminlerin oldukça başarılı ve güvenilir olduğu gösterilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre, seçilen bölgemizin rüzgar potansiyelinin yeterince iyi olduğu ve bu bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacının uygun rüzgar türbini tipi kullanılarak rüzgar enerjisinden karşılanabileceği, dolayısıyla yatırım yapılmasının oldukça uygun olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** yapay sinir ağları, yenilenebilir enerji kaynakları, yapay zeka, rüzgar türbinleri, rüzgar hızı

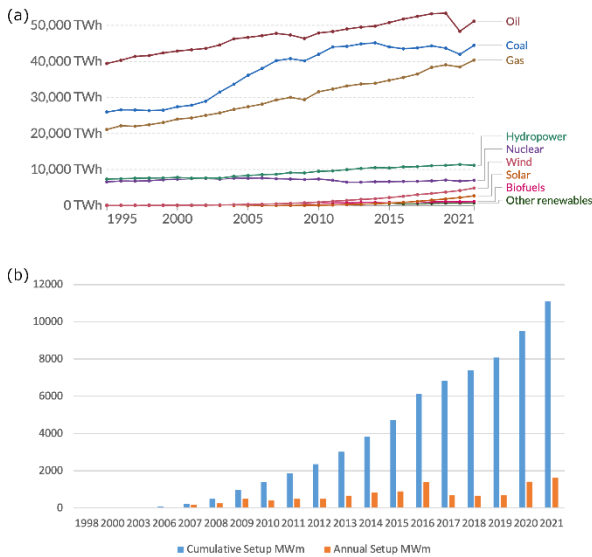
### INTRODUCTION

With the increase in the world population, the demand for energy has increased due to the developing industry and technology in recent years (Koç E, Kaya K., 2015). The sustainability of energy resources has been one of the most important problems of our world and humanity from past to present. Factors such as the rapid depletion of energy resources; the unconscious

use of non-renewable resources such as oil, coal, and nuclear energy; the pollution caused by these resources to the environment and the atmosphere have led people to use renewable energy resources (solar energy, wind energy, geothermal energy, biomass energy, and hydraulic energy) (Arslan F, Uzun A., 2017). In recent years, while the usage rates of coal (33%) and natural gas (22%) in electricity

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1174444

production have decreased, electricity production from hydroelectric, solar and wind energy has increased. Figure 1 (a) shows the change in the electricity produced in the world between 1985 and 2020 according to the energy sources.



**Figure 1.** (a) Distribution of electricity produced between 1985 and 2020 according to sources (Our World in Data, 2021). (b) Cumulative installation and annual installation of wind power plants in Turkey (Tureb, 2021)

While there is an increase in the installed power of renewable energy power plants, it is seen that there is a decrease of 291 MW in the total installed power of the power plants that produce electricity with natural gas and other fuels. Considering the Eleventh Development Plan, it is foreseen that the total installed electricity power of Turkey will reach 109.5 GW by 2023. Considering the first nine months of 2020, the shares of energy resources in electricity generation are as follows: imported and domestic coal power plants (34%), hydroelectric power plants (29%), natural gas power plants (19%), wind power plants WPPs (8%), solar power plants (4%), geothermal power plants (3%), biomass energy power plants (2%) (TSKB, 2020). If we look at the resource distribution, the use of coal and natural gas has been decreasing in recent years clearly. Although there is a decrease, it is a serious problem that almost half of the electricity production both globally and in our country is provided by oil, coal and natural gas, which are known as fossil fuels. Considering the finite nature of fossil fuel resources, which are largely

used to meet energy needs, their prices and the damage they cause to nature, there has been an increase in the demand for renewable energy resources and still continues to increase.

Among the renewable energy sources, the rate of use of wind energy in the world is constantly increasing due to its domestic, continuous and direct use. Wind energy also has advantages such as reducing gas emissions and long-term use of turbines (Bayraç, 2011). Despite the high initial installation costs of wind turbines, their ability to operate without the need for raw materials reduces operating costs. Wind energy is the fastest growing energy type among renewable energy sources globally and the most invested in the last 6 years. In 2019, approximately 15% of electricity demand in Europe and 7% in Turkey is provided by wind power plants (YEKDEM, 2020). Additionally, Figure 1(b) shows cumulative installation and annual installation of wind power plants in Turkey between 1998-2021.

Since electrical energy cannot be stored on a large scale, the electricity produced has to be consumed at the same time. This difference between production and consumption reflects negatively on the network, and for this reason, efforts are made to reduce and balance the difference between production and consumption. Since electricity generation with wind energy has a variable structure, it is more difficult to control than traditional electricity generation. In electricity markets, future production and consumption estimates and price offers are requested from the participants. When the participants cannot produce the amount they declared, they pay a penalty in proportion to the difference between their products and their estimated values. Penalties here due to forecast errors constitute approximately 10% of the revenues of wind farms. (Dukpa et al., 2010). Values such as consumption estimates received in the market, production estimates and price offers for the estimates are used in the creation of the work programs of the power plants in a way that will minimize the price of electricity in the grid. Ensuring the balance of production and consumption ensures that the uncertainty in electricity systems is reduced, optimizing the electricity price and increasing the efficiency of the system. For this reason, energy forecasting models made with wind forecasting have a crucial role to obtain reliable, economic, and

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1174444

efficient operation of wind energy resources. These forecasting models are used in power systems planning, reserve planning, maintenance and repair planning, and tenders in the electricity market. Thanks to forecasting models, one-day marketing of power plants in electricity can increase by reducing forecast errors. It can benefit from an important choice especially in the short-term wind power target, day-ahead electricity, aiming the day-ahead electricity plan from the reserve section, and the targets of the unit decisions. Problems such as short-term construction allowance paid and excess budget allocation can be loaded from the excess business and integrated into the system. Estimates of wind power can be divided into three categories according to their methodology:

1- Statistical methods: In statistical methods, a large amount of historical data are taken into account without considering meteorological data. This method is aimed to find the relationship between the measured power data. Statistical methods are more suitable for short-term wind power estimations because the error tolerance increases as the estimation time increases (Garcia and angel, 2009; Giebel et al., 2011).

2-Physical methods: It focuses on lower atmosphere or numerical weather forecasting (NWP), which uses mostly meteorological data and weather forecast data. It uses parameterizations based on a detailed physical description of the atmosphere to arrive at the best estimation method for physical systems.

3-Hybrid Methods: These are systems that use physical and statistical data as hybrids. The purpose of hybrid models is to obtain an optimal forecasting performance to take advantage of both models (Wu and Hon, 2007).

Here, we use artificial neural networks (ANN) to process wind power datas because traditional programming is insufficient to deal with unsteady wind power behaviour. Additionally, one of the biggest reasons to use ANN method is that it has great

advantages such as working with incomplete information, not preventing one or more cells from producing output due to disruption, and parallel processing capabilities. In this case, in order to make an accurate estimation, the most suitable model for our data was chosen by trial and error ways. Another important feature of ANN is that it can create invisible relationships on invisible data after the learning model is created.

There are many studies on the use of wind energy with artificial neural networks (ANN) (Can, Ö. F. 2021). For example, in Ref. (Çetin F., 2003), wind intensity estimation with artificial neural networks was discussed and radial-based and feed-forward networks were used as ANN, and connection weight values in feed-forward ANN were optimized using backpropagation and Evolutionary Algorithm (EA). In another study, in Ref. (Yeşilnacar Y O., 2011), the wind speed, pressure, and temperature estimation with artificial neural networks in Bilecik province was discussed and modeling of real data, a statistical model of real data, and three different models in which odd-numbered days in real data were considered as input and even-numbered days as output were studied. Thus, they revealed that which of the ANN models was more successful for the related wind parameters (Yeşilnacar Y O., 2011). In addition to that, very recent studies in the literature are given in Table 1.

In this present work, electricity generation from wind energy was tried to be estimated with the ANN model. In our study, data of 6 different wind turbines (Gamesa G97, Suzlon S88, Siemens SWT2.3, Nordex, Enercon E82-3, and Vestas V117) were used with the tool interface of Matlab (2018b version). The place to be used as the application area in the study is located in the center of Rize, and the wind speed data of this location were used as input, and the wind power output values of 6 different wind turbines were used as output values.

**Table 1.** Wind power estimation studies, estimation methods and error criteria in the recent literature

Work	Input Variables	Estimation Method	Error Criteria	Reference
Short-term wind power forecasting by stacked recurrent neural networks with parametric sine activation function	Wind power	LSTM, DA	RMSE, MAE, R2	Liu et. al. (2021)
Wind power generation probabilistic modeling using ensemble learning techniques	Wind speed, wind direction, temperature, humidity	Boost, gradient boost tree, XGBoost	RMSE, R2	Banik et. al. (2020)
Uzun kısa süreli hafıza ve evrişimsel sinir ağları ile rüzgar enerjisi üretim tahmini	Wind power	CNN, LSTM	MSE	Görgel and Kavlak (2020)
Short-term wind power prediction based on improved chicken algorithm optimization support vector machine	Wind speed, wind direction, temperature, humidity	SVR, ICSSO	RMSE, RE	Fu et. al. (2019)
Short-term wind power forecasting using long-short term memory based recurrent neural network model and variable selection	Wind speed, temperature	LSTM	NRMSE	Cali and Sharma (2019)
Yapay zeka teknikleri kullanılarak kısa dönem rüzgar gücünün çok katmanlı tahmini	Wind speed, wind direction	ANFIS, YSA, SVR	NRMSE	Çevik (2019)

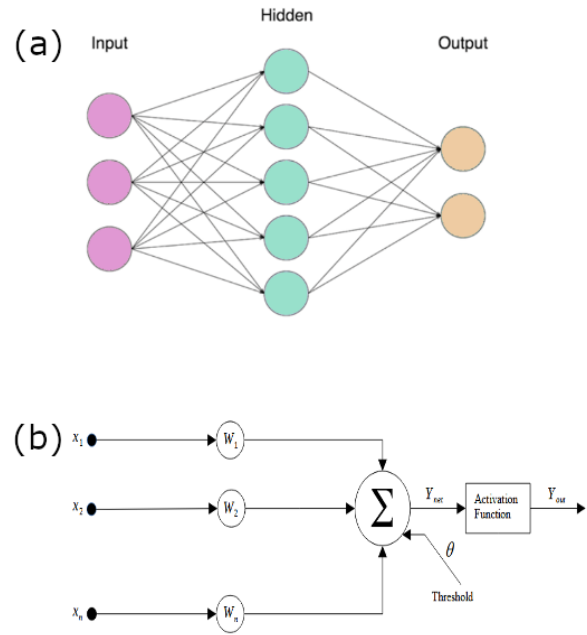
## MATERIAL AND METHODS

ANN are computer systems that have the ability to derive and discover new information through learning, and to perform operations without self-help (Altunbey, F. And Alataş, B. 2015, Özcan, C. 2021). Artificial neural networks can also obtain results from imprecise data and have various learning features. ANNs are systems that are formed by connecting artificial nerve cells and consist of three main parts: input layer, hidden layer, and output layer which can be determined as the following.

**Input layer:** It contains the input data coming from data source to the ANN. From here, the inputs are transmitted to the hidden layer without any processing.

**Hidden Layer:** After the input layer, the data comes to this layer. The number of hidden layers may vary depending on the need. The number of neurons in the hidden layer is independent of the number of inputs and outputs.

**Output Layer:** Processes the data from the hidden layer and produces the outputs. In feedback networks, new weight values are calculated using the output produced in this layer. In Figure 2 (a) the schematic topological representation of an artificial neuron is represented.

**Figure 2.** (a) Structure of an artificial neuron. (b) Artificial neural network model

In the structure of an ANN, weight values are determined to increase the accuracy of the outputs produced by using various transfer functions such as linear and sigmoid as illustrated in Figure 2 (b). Thanks to the training of artificial neural networks, the weights are determined using the previous examples and the relationship between the predicted variables is revealed by the input variables. After the network training is over, artificial neural networks



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1174444

can work with new data and reach a level that can produce predictions. Network performance is measured by error criteria and driven signals. The margin of error is obtained by comparing the output of the network with the output driven. It is desired to reduce the error margin rate by using the backpropagation algorithm. By repeating this process several times, the network is trained. The purpose of a network trainer is to get the best solution in performance measurements. Thanks to the training, examples are generalized, and results are produced for new data that has never been defined into the system before. The most important advantage of ANN is that there is no need for a mathematical model, and it can learn by itself (Graupe D., 2016). ANN has applications in various fields such as prediction (Badri A, Ameli Z, Birjandi AM. 2012, Guo Z, Zhao W, LU H, Wang J. 2012, Abhishek K, Singha MP, Ghosh S, Anand A. 2012), classification (Dehuri S, Roy R, Cho SB, Ghosh A., 2012, Ghiassi M, Olschimke M, Moon B, Arnaudo P., 2012, Raeesi M, Moradzadeh A, Ardejani FD, Rahimi M., 2012), and image recognition (El-Midany TT, El-Baz MA, ABD-Elwahed M S., 2010).

In the training phase, one of several algorithms is selected for the input and the target. The join function is defined as:

$$Net = \sum_{i=1}^n X_i W_i + b \quad (1)$$

Here  $X$  is the input values and  $W$  is the weights. If the  $n$  value is taken as the number of inputs presented to the model,  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$  are the weight values that are automatically adjusted in the Matlab program, and  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  values are the wind speed data entries in m/s. The activation function selected among various activation functions calculates the output  $o=f(Net)$  by applying the inputs taken by the model to the model, and gives the output data as follows;

$$o = f(\sum_{i=1}^n X_i W_i + b) \quad (2)$$

Here, the  $b$  value is a fixed value and is called the threshold that changes according to the activation function we choose. Learning in ANN is of three types: supervised learning, unsupervised learning, and supportive (reinforced) learning.

Supervised learning: inputs and outputs vectors to the system are given as pairs. According to these given

data, the system makes generalizations about the examples by collecting information from the examples that come across.

Unsupervised learning: it is a type of learning that works even though there is no previously entered data in the system. Unsupervised learning cannot obtain a definite result since no information is given about the data in the system.

Supportive (reinforced) learning: it does not require prior knowledge. The program is a type of learning that acts with its actions and knowledge and reaches the result by trial and error.

In our study, the Matlab nntool interface was used for ANN model training and the window view of the tool interface is shown in Figure 3. Our input and target data were saved in the Microsoft Excel program and transferred to the Matlab environment.

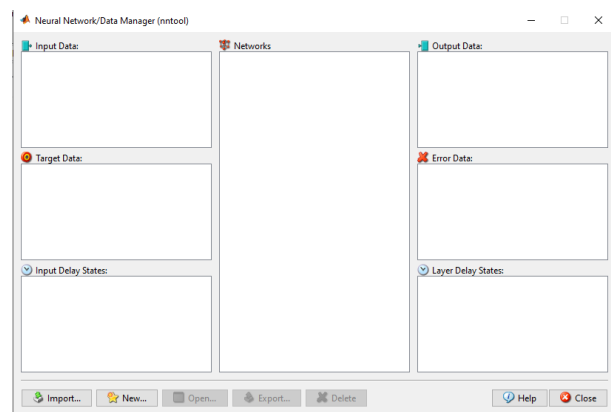


Figure 3. Matlab tool interface window view

## RESULTS AND DISCUSSION

In this study we tried to predict electricity generation from wind energy using ANN. For the test of our ANN model, we aim to meet/reduce the loaded electricity consumption of the Rize Provincial Health Directorate by using renewable energy sources through the use of wind energy. In Figure 4, a suitable location for the placement of wind turbines within ~1km of Rize Provincial Health Directorate has been selected for our wind turbine positioning. While creating the ANN model training, we use one-year average daily wind speed as input data in the region we are interested in; we produce the wind power values for six different selected wind turbines (Gamesa G97, Suzlon S88, Siemens SWT2.3, Nordex

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1174444

N100, Enercon E82, and Vestas V117) as target data. The wind speed data we use here has been taken into account that the wind turbine is at the height of the tower. A cross-section (15-day-period) of the wind speed data for the location we are interested in is listed in Table 2. The wind power output values we produce for 0-25 m/s wind speed for six different wind turbine types that we are interested in in our study are listed in Table 3.

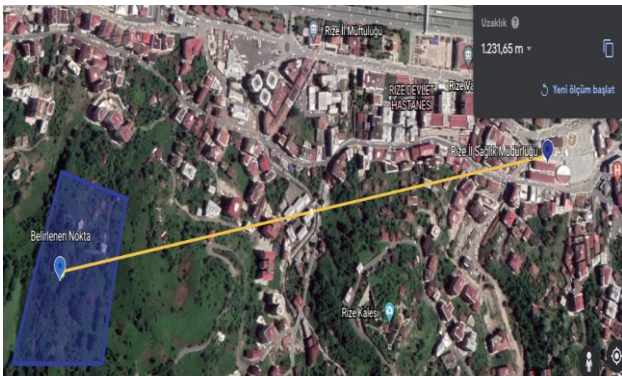


Figure 4. The location we are interested in, close to Rize Provincial Health Directorate ~1km from the center of Rize/Turkey

Table 2. A daily average wind speed data for our location in Rize/Turkey between January 2020 – December 2020 (Meteostat, 2021)

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	8,3	9,5	17,9	9,7	8	7,1	8,7	8,6	6,9	12,9	13,7	8,1
2	8,2	8,4	10,1	13	7,5	7,8	7,2	15,9	7,1	13,2	6,3	6,2
3	9,5	24,4	7,6	9,9	8,7	10,7	5,5	11,1	11,4	8,4	8,7	6
4	8,7	20,7	6,3	12,5	6,3	7,2	8,7	8,3	8,1	11,4	7,2	7,5
5	7,7	15,6	5,3	5,1	7,9	10,8	6,8	7,3	11	10	4,6	6
6	7,7	22,3	12,7	10	7,7	6,4	6,6	9,6	9,6	10,9	19,5	17,7
7	4,7	14	9,8	8,9	11,4	5,3	8,6	7,8	11,3	11,5	10,8	10,2
8	9,9	18,6	5	4,3	14,9	8,5	16,1	4,9	7	8,2	10,7	12,6
9	20,7	13,1	8,6	8,1	8,1	6,5	20,2	6,1	11,1	8,7	8,9	6,5
10	10,9	14,3	13,6	7	8,1	7,7	11,7	10,1	9,8	11,4	11,7	9,1
11	7,2	11,3	10	5,3	8,3	11	9,1	11,4	6,5	5,8	16	9,6
12	7,4	16	4,9	9,6	11,8	8,1	8,4	10,3	8,7	9,1	7,2	11,6
13	14,3	12,7	7,7	11	11,4	9,5	15,3	14,5	8,8	7,4	12,9	14,2
14	10,3	17,3	10,8	7,8	11	8,9	15	18,2	7,5	5,8	9,1	8,9
15	7,8	3,2	13,6	12,7	6,5	9,1	10,7	14,9	10,3	7	17	7,8
16	8,3	8,2	14,2	9,6	12,5	7,4	10,2	13,5	7,4	6,6	13,4	21
17	7,5	7,6	11,8	13	9,5	7,5	9,3	13,4	7,2	8,3	8,4	23,1
18	13,6	9,9	5,2	5,3	10,8	8,4	9	9,6	8,5	10,8	8,8	9
19	5,8	4,5	5,5	6,5	6,2	14,7	6	9,8	13,8	12,5	11,1	10,3
20	8,7	8,1	2,7	9,6	9,8	10,7	8,5	8,8	7,5	8,3	7,1	9,3
21	18,1	4,7	4,4	12,1	11,4	9,7	16,2	10,6	5,5	9,9	12,1	10,5
22	7,5	8,6	8,3	6,4	20,3	10	11,8	11,7	13,6	8,7	11,9	13,5
23	12,7	7,5	5,3	8,8	15,2	7,8	10,1	22,3	9,5	10,9	10,1	16,1
24	15,2	6,9	7,3	10,3	10,7	12,2	13,3	12,4	6,3	7,7	9,1	15
25	15,1	21,9	4,9	8,4	12,9	11	7,9	6,9	6,6	5,7	17,2	8,6
26	5	9,8	2,9	6,7	10,8	8,8	6,3	8,5	7,5	4,1	13,4	6
27	7,6	7,7	5,6	7,9	9,4	8,2	6,7	6,8	7,7	7,7	13,4	3
28	7,1	19,2	3,1	7,4	9,4	7,9	9,9	9,2	6,1	8,7	8,3	4,4
29	10,6	9	6,5	11,2	9,5	10,7	9,5	10,4	9,7	11,5	4,7	3,8
30	15,1		7,8	7,8	8,4	15,4	9,9	7,9	14,3	8,9	7,2	3,4
31	18,9		6,3		9,2		8,5	5,5		7,8		5,3

Table 3. The amount of energy (kW) produced by the 6 different wind turbines according to the wind speed (Şenol Ü, Musayev Z. 2017)

Wind Speed (m/s)	Gamesa G97	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	14	15	66	24	25	24
4	94	35	171	84	82	139
5	236	130	352	212	174	312
6	438	310	623	391	321	570
7	714	525	1002	599	525	936
8	1084	820	1497	912	800	1419
9	1508	1160	2005	1299	1135	2027
10	1836	1540	2246	1744	1510	2705
11	1973	1880	2296	2149	1880	3168
12	1992	2100	2300	2389	2200	3292
13	1998	2100	2300	2492	2500	3300
14	2000	2100	2300	2500	2770	3300
15	2000	2100	2300	2500	2910	3300
16	2000	2100	2300	2500	3000	3300
17	2000	2100	2300	2500	3000	3300
18	2000	2100	2300	2500	3000	3300
19	2000	2100	2300	2500	3000	3300
20	2000	2100	2300	2500	3000	3300
21	2000	2100	2300	2500	3000	3300
22	2000	2100	2300	2500	3000	3300
23	2000	2100	2300	2500	3000	3300
24	2000	2100	2300	2500	3000	3300
25	2000	2100	2300	2500	3000	3300

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1174444

While creating our ANN model, we apply Min-Max normalization process to obtain more consistent results and which is determined as;

$$x_n = \frac{x_0 - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

Here  $x_n$  is normalized data,  $x_0$  is the original data,  $x_{min}$  the minimum, and  $x_{max}$  is the maximum data. In Table 4, there is a 15-day cross-section of the normalization process of our wind speed data can be found.

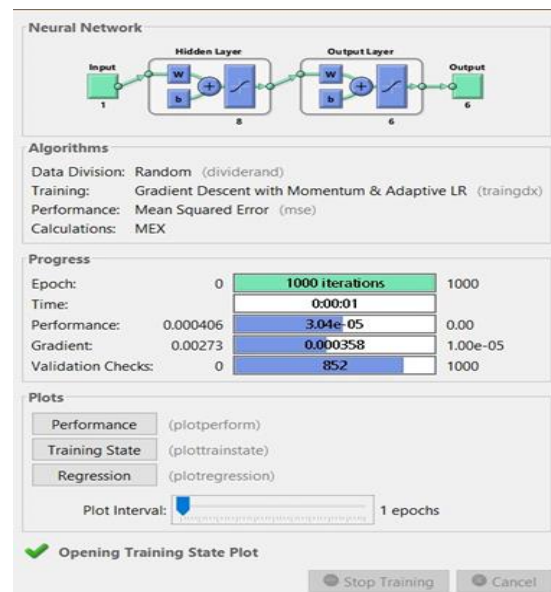
**Table 4.** A daily average normalized wind speed data for our location in Rize/Turkey between January 2020 – December 2020

Days	January	February	March	April	May	June
1	0.258065	0.313364	0.700461	0.322581	0.24424	0.202765
2	0.253456	0.262673	0.341014	0.474654	0.221198	0.235023
3	0.313364	1	0.225806	0.331797	0.276498	0.368664
4	0.276498	0.829493	0.165899	0.451613	0.165899	0.207373
5	0.230415	0.59447	0.119816	0.110599	0.239631	0.373272
6	0.230415	0.903226	0.460829	0.336406	0.230415	0.170507
7	0.092166	0.520737	0.327189	0.285714	0.400922	0.119816
8	0.331797	0.732719	0.105991	0.073733	0.562212	0.267281
9	0.829493	0.479263	0.271889	0.248848	0.248848	0.175115
10	0.37788	0.534562	0.502304	0.198157	0.248848	0.230415
11	0.207373	0.396313	0.336406	0.119816	0.258065	0.382488
12	0.21659	0.612903	0.101382	0.317972	0.419355	0.248848
13	0.534562	0.460829	0.230415	0.382488	0.400922	0.313364
14	0.35023	0.672811	0.373272	0.235023	0.382488	0.285714
15	0.235023	0.023041	0.502304	0.460829	0.175115	0.294931

In our study, during the creation of the ANN training model, we choose the most appropriate ANN parameters to ensure that the model give the lowest error. In our model, due to ease of use, convergence rate, and high forecast success in both linear and nonlinear models, we use the feed-forward back-propagation algorithm (The MathWorks, 2021). To train our data we use Trained (Variable Learning Rate Backpropagation) algorithm, a network training function that updates weight and training values according to gradient landing momentum and adaptive learning rate (The MathWorks, 2021). We use LearnGdm as the learning function for our ANN model. LearnGdm calculates the weight change for a given neuron from the neuron's input and error, weight (or deviation), learning rate, and momentum constant to momentum gradient descent. To activate neurons in neural networks we use activation functions, also known as transport functions. It also increases the expressiveness of the ANN model, enabling the network to learn and calculate more complex tasks. We use the tangent sigmoid transfer function (tansig) for the activation function, considering that it is a continuous and differentiable function in the selection of the function. We choose

the MSE (Mean Squared Error) function as the performance function for our model.

For the ANN model we created, the daily average wind speed data between the 12 months we are interested in for the location we are working on, and the power output power values of 6 different wind turbines are taken as the target (output) data. The iteration value, which is the stopping criterion, is set to 1000. Gradient value 1.00e-05 with “0” error and validation error number of 850 is used. For the training of our model, we determine the learning rate as 0.01 and the momentum value as 0.9. The training of our model stopped by reaching 1000 iterations in 1 second time. The dividerand function is randomly divided into 70% training, 15% validation and 15% test data on Matlab. Figure5 shows the ANN model and training parameters we created in the Matlab nntool interface.

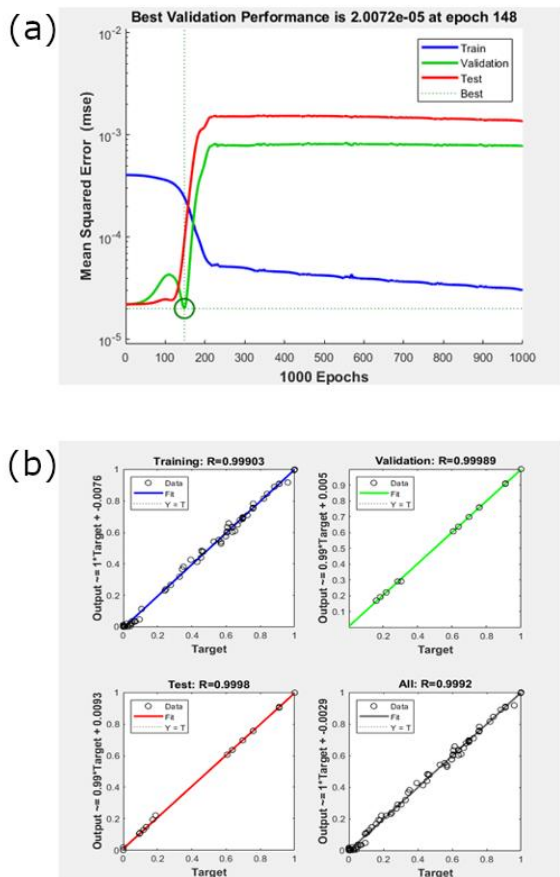


**Figure 5.** ANN model and training parameters created in Matlab nntool interface

The error values of the validation set obtained as a result of the training phase are used in the selection of the weights that gave the best performance values as a result of the model training. In the testing phase of the model, first of all, the values we found as a result of the training are presented to the network again, and in this way, the synaptic weights matrix and input values are presented to the network, and it was aimed

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1174444

to predict the model with the least error. As presented in Figure 6 (a), the lowest error is in the 148th iteration.



**Figure 6.** (a) The changes in the performance function of the validation and test data of the ANN training model we created during the training phase. (b) Regression curves of the results of the training, validation, and testing data of our ANN model

Figure 6 (b) shows the regression curves of the results of the training, validation and test data of our ANN model. As can be seen from our results the output values of our ANN model are very close to the real data.

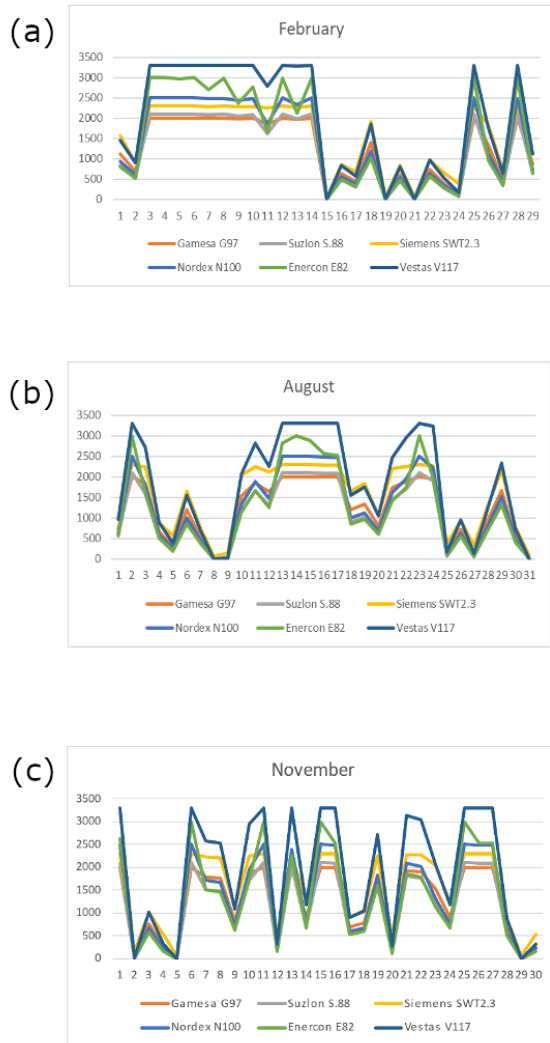
Here, from the calculations we have made using our successful ANN model between January 2020 - December 2020 however a section of months February, August and November 2020 is presented in this study. The data of the estimated wind power output values produced from 6 different wind turbines

on a daily average for February 2020 are listed in Table 5 and its graphical representation is presented in Figure 7 (a). Likewise, data on estimated power output values generated from an average of 6 different wind turbines per day for August 2020 and November 2020 were listed in Table 6 and Table 7, respectively; and their graphical representations are presented in Figure 7 (b) and 7(c), respectively.

**Table 5.** The expected daily average power output values (kW) from 6 different wind turbines for February 2020

February	Gamesa G97	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
1	1129.689	845.46	1563.672	940.005	808.434	1461.768
2	688.974	524.667	911.823	599.511	528.198	911.526
3	1999.998	2099.658	2298.681	2499.717	2999.832	3300
4	1999.998	2099.79	2299.605	2498.628	2998.545	3300
5	1999.998	2098.239	2299.242	2496.912	2969.538	3300
6	1999.998	2099.394	2299.671	2499.42	2999.337	3300
7	1999.338	2093.124	2292.378	2490.774	2709.498	3299.967
8	1999.998	2099.79	2299.671	2496.615	2993.694	3300
9	1992.573	2055.339	2283.303	2438.997	2368.773	3298.449
10	1999.635	2095.071	2294.061	2493.282	2773.089	3300
11	1848.099	1629.243	2248.818	1852.653	1647.855	2786.289
12	1999.998	2098.635	2299.605	2497.374	2984.223	3300
13	1975.347	1981.32	2276.076	2335.311	2129.886	3282.807
14	1999.998	2099.163	2299.803	2497.704	2992.836	3300
15	0.396825	0.211652	31.74237	3.36996	2.849484	0.372207
16	639.111	482.46	858.66	558.261	489.258	846.879
17	436.359	303.0423	692.274	383.658	319.9548	577.203
18	1406.757	1072.962	1913.736	1192.62	1017.159	1855.194
19	2.133153	0.652344	56.9547	3.3099	1.764279	3.196314
20	612.381	458.964	833.613	535.59	467.346	811.668
21	2.3529	0.709104	59.2482	3.42144	1.798962	3.5805
22	739.167	564.399	975.018	639.276	564.003	974.82
23	391.017	264.6567	656.469	344.718	283.2093	517.209
24	122.6181	65.2938	385.836	115.1139	82.5396	165.7887
25	1999.998	2099.427	2299.671	2499.354	2999.304	3300
26	1337.754	1011.879	1835.658	1124.145	959.277	1750.782
27	478.434	339.603	724.911	419.958	354.75	633.171
28	1999.998	2099.922	2299.539	2495.856	2994.453	3300
29	866.085	656.337	1163.151	735.24	644.358	1130.25





**Table 6.** The expected daily average power output values (kW) from 6 different wind turbines for August 2020

August	Gamesa G97	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
1	739.167	564.399	975.018	639.276	564.003	974.82
2	1999.998	2098.569	2299.539	2497.275	2981.781	3300
3	1827.309	1589.181	2240.898	1801.536	1597.926	2710.257
4	664.389	504.174	884.466	579.348	509.388	879.879
5	294.4755	186.8823	574.893	262.2642	207.6492	390.225
6	1197.207	897.072	1657.524	996.732	854.304	1551.99
7	516.912	373.626	754.776	453.255	386.991	684.486
8	2.596044	0.778503	61.8255	3.6036	1.882716	3.9864
9	11.82027	4.30188	128.6901	13.46796	7.79526	17.4537
10	1532.553	1195.359	2039.07	1331.682	1138.599	2061.18
11	1857.24	1648.02	2251.755	1877.04	1670.394	2824.272
12	1634.094	1308.549	2123.715	1462.659	1258.851	2247.663
13	1999.734	2095.863	2295.15	2494.272	2812.92	3300
14	1999.998	2099.592	2299.77	2497.176	2993.43	3300
15	1999.899	2096.952	2297.163	2495.526	2888.622	3300
16	1997.82	2083.422	2288.517	2477.772	2561.658	3299.868
17	1997.061	2079.132	2287.428	2471.865	2520.441	3299.736
18	1197.207	897.072	1657.524	996.732	854.304	1551.99
19	1337.754	1011.879	1835.658	1124.145	959.277	1750.782
20	796.059	606.573	1056.132	682.737	601.194	1044.879
21	1738.638	1445.565	2194.929	1625.019	1417.284	2469.456
22	1883.211	1706.232	2258.355	1954.194	1736.559	2946.405
23	1999.998	2099.394	2299.671	2499.42	2999.337	3300
24	1950.828	1894.497	2270.334	2213.475	1968.879	3231.129
25	122.6181	65.2938	385.836	115.1139	82.5396	165.7887
26	713.658	544.533	941.688	619.245	546.216	942.843
27	92.6475	46.9128	339.504	88.803	61.8948	126.4131
28	955.053	718.872	1301.949	802.296	698.247	1239.48
29	1674.915	1359.039	2153.514	1521.96	1315.479	2329.701
30	551.826	404.844	782.397	483.483	416.493	731.115
31	4.08474	1.275384	76.7085	5.17209	2.750088	6.27

**Figure 7.** Graphical representation of expected daily average power output values (kW) from 6 different wind turbines for (a) February, (b) August and (c) November 2020

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1174444

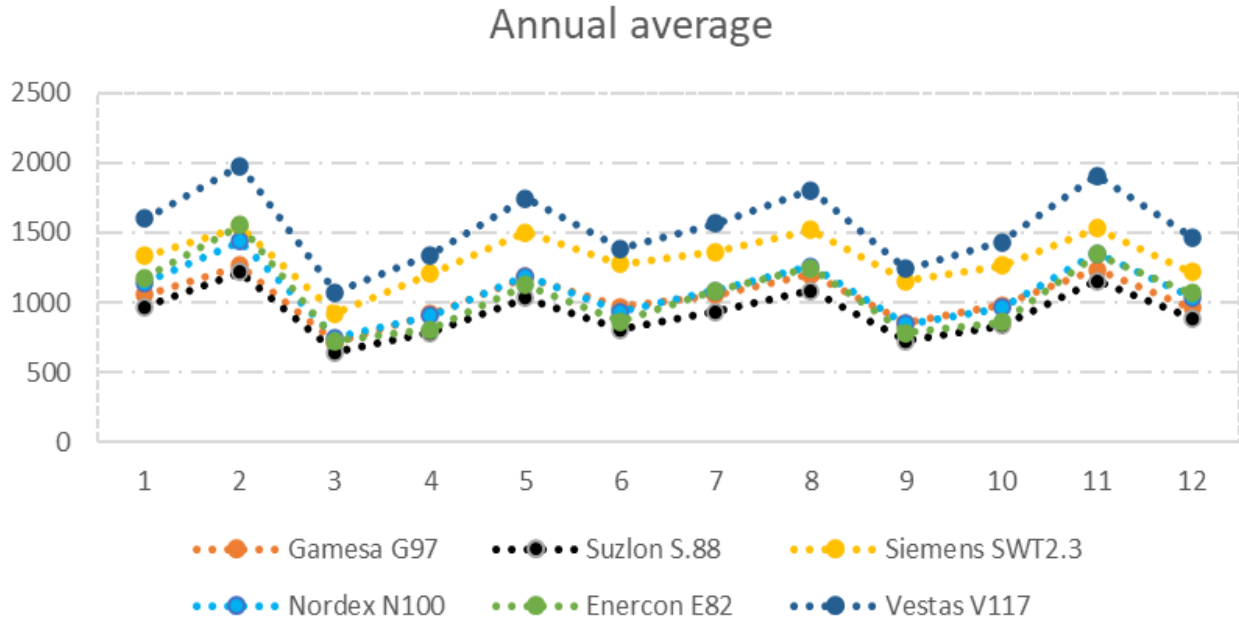
**Table 7.** The expected daily average power output values (kW) from 6 different wind turbines for November 2020

November	Gamesa G97	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
1	1998.711	2088.999	2290.299	2485.263	2630.76	3299.934
2	20.27718	8.01273	166.8018	22.03113	13.3551	29.30631
3	766.359	584.859	1012.803	660.231	582.153	1008.48
4	246.213	150.3414	529.617	221.1759	171.3195	327.1257
5	2.242284	0.679833	58.0866	3.35841	1.776258	3.3891
6	1999.998	2099.922	2299.506	2495.922	2995.113	3300
7	1783.287	1513.578	2220.042	1707.585	1501.566	2580.27
8	1762.959	1481.7	2209.053	1668.711	1461.636	2528.031
9	829.026	630.168	1105.929	707.52	621.72	1085.106
10	1883.211	1706.232	2258.355	1954.194	1736.559	2946.405
11	1999.998	2098.635	2299.605	2497.374	2984.223	3300
12	246.213	150.3414	529.617	221.1759	171.3195	327.1257
13	1986.105	2025.441	2279.871	2397.252	2250.402	3294.555
14	907.896	685.707	1228.425	766.623	669.669	1181.4
15	1999.998	2099.064	2299.803	2497.737	2992.341	3300
16	1997.061	2079.132	2287.428	2471.865	2520.441	3299.736
17	688.974	524.667	911.823	599.511	528.198	911.526
18	796.059	606.573	1056.132	682.737	601.194	1044.879
19	1827.309	1589.181	2240.898	1801.536	1597.926	2710.257
20	200.3925	117.2721	482.262	182.0973	137.7024	267.3528
21	1920.897	1804.011	2265.087	2087.646	1847.175	3124.935
22	1901.361	1751.31	2261.787	2015.277	1786.356	3035.835
23	1532.553	1195.359	2039.07	1331.682	1138.599	2061.18
24	907.896	685.707	1228.425	766.623	669.669	1181.4
25	1999.998	2099.13	2299.803	2497.737	2992.704	3300
26	1997.061	2079.132	2287.428	2471.865	2520.441	3299.736
27	1997.061	2079.132	2287.428	2471.865	2520.441	3299.736
28	664.389	504.174	884.466	579.348	509.388	879.879
29	2.3529	0.709104	59.2482	3.42144	1.798962	3.5805
30	246.213	150.3414	529.617	221.1759	171.3195	327.1257

As a result of our study, the estimated monthly average wind power output values to be obtained from 6 different wind turbines between January 2020 - December 2020 are listed in Table 8 and its graphical representation is shown in Figure 8. According to the results, it has been determined that the region is efficient in terms of wind and electrical energy production with a high capacity factor can be realized with the turbines selected appropriately. When the estimated power values are examined, it is seen that the turbine type is Vestas V117 with the best efficiency, followed by Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Gamesa G97, Suzlon S88 turbines, respectively.

**Table 8.** Average estimated wind power output values (kW) obtained from 6 different wind turbines between January 2020 – December 2020

Months	Gamesa G97	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
1	1054.0877	968.10459	1335.0642	1141.26	1178.0229	1599.8741
2	1264.4208	1218.6004	1543.2031	1437.6136	1554.6815	1976.2386
3	711.9908	641.71475	923.3751	750.98818	727.93165	1071.6374
4	917.43471	783.88218	1207.6929	905.75813	803.87307	1340.3832
5	1182.6043	1032.7431	1501.2201	1191.7833	1122.7005	1745.9877
6	966.72106	808.77886	1273.2491	934.77986	861.90379	1385.3484
7	1058.4021	936.7435	1359.9522	1087.1987	1083.2428	1563.2657
8	1202.9281	1084.7695	1516.5935	1260.8563	1245.7125	1805.8732
9	854.84875	724.99406	1153.9981	846.66336	784.33719	1238.2712
10	980.2851	836.54048	1263.7018	964.57373	859.98726	1432.2856
11	1237.069	1152.9837	1530.2905	1349.6847	1344.2422	1908.6095
12	965.34513	890.36172	1216.1843	1040.3027	1067.6731	1466.2394



**Figure 8.** Graphical representation of the average estimated wind power output (kW) values obtained from 6 different wind turbines between January 2020 – December 2020

## CONCLUSION

In this study, energy production from wind energy is estimated utilizing the network trained using ANN with six different wind turbines. In the created ANN model, the speed-power output values obtained from the manufacturer's catalogs for different wind turbines are entered as input layer and output layer, respectively. From the regression curves of the training, validation, and test data obtained as a result of the modeling, it is seen that the ANN model could make a successful and consistent estimation with the smallest error. The actual wind speed values of the relevant location are used as a post-training application were defined as input data to the Matlab program and the wind turbine power output values are simulated. Thus, it is concluded that the Vestas V117 turbine provided the highest power output among the six different wind turbine types, and the turbine providing the second-best power output is found to be the Siemens SWT2.3 turbine. As it is seen in the power output values, it will be quite possible, convenient, and advantageous to meet the electricity generation for the selected region from wind energy.

As a result, this study will guide the investors and practitioners in the energy sector to benefit from wind energy.

## CONFLICT OF INTEREST

The Authors 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

- Abhishek, K., Singha, M. P., Ghosh, S. and Anand, A. (2012). Weather forecasting model using Artificial Neural Network. *Procedia Technology*, 4, 311 – 318.
- Altunbey, F. And Alataş, B. (2015). Sosyal ağ analizi için sosyal tabanlı yapay zekâ optimizasyon algoritmalarının incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 33-40
- Arslan, F. and Uzun, A. (2017). Yenilenebilir enerji yatırımlarının sosyal kabul boyutu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (51), 95-116.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1174444

- Badri, A., Ameli, Z. and Birjandi A. M. (2012). Application of artificial neural networks and fuzzy logic methods for short term load forecasting. *Energy Procedia*, 14, 1883-1888.
- Bağcı, E. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Üretimi, Tüketimi ve Cari İşlemler Dengesi İlişkisi. *Research Studies Anatolia Journal*, 2(4): 101-117.
- Banik, R., Das, P., Ray, S., Biswas, A. (2020). Wind Power generation probabilistic modeling using ensemble learning techniques. *Materials Today: Proceedings*, 26:2157-2162
- Bayraç, H. N. (2011). Küresel rüzgâr enerjisi politikaları ve uygulamaları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30(1): 37-57.
- Cali, U., Sharma, V. (2019). Short-term Wind Power Forecasting Using Long-short Term Memory Based Recurrent Neural Network Model and Variable Selection, *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, Volume. 8, p. 103-110. DOI: 10.12720/sgece.8.2.103-110
- Can, Ö. F. (2021). Dicle üniversitesi mühendislik fakültesinin rüzgâr ve sıcaklık etkilerinin nümerik olarak incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 364-366
- Çetin, F. (2003). Yapay sinir ağlarıyla rüzgar şiddeti tahmini. Doctoral dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çevik, H.H., (2019). Yapay Zeka Teknikleri Kullanılarak Kısa Dönem Rüzgar Gücünün Çok Katmanlı Tahmini. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Doktora Tezi*.
- Dehuri, S., Roy, R., Cho, S.B. and Ghosh A. (2012). An improved swarm optimized functional link artificial neural network (ISO-FLANN) for classification. *Journal of Systems and Software*, 85(6), 1333-1345.
- Dukpa A., Duggal I., Venkatesh B. and Chang L. (2010). Optimal participation and risk mitigation of wind generators in an electricity market. *Renewable Power Generation*, IET 4(2):165-175.
- El Midany, T. T., El Baz, M. A. and Elwahed, M. S. (2010). A proposed framework for control chart pattern recognition in multivariate process using artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1035-1042.
- ETKB, (2021). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
- Fu, C., Li, G. Q., Lin, K. P. and Zhang, H. J. (2019). Short-term wind power prediction based on improved chicken algorithm optimization support vector machine. *Sustainability*, 11(2), 512.
- Garcia, A. and Angel, T. V., (2009). A Statistical wind power forecasting system A Mexican wind-farm case study. In *European Wind Energy Conference & Exhibition—EWEC Parc Chanot*.
- Gençoğlu, M. and Cebeci M. (2001). Dünya ‘da ve Türkiye ‘de rüzgar enerjisi. *Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu*, İzmir, Türkiye.
- Ghiassi, M., Olschimke, M., Moon, B. and Arnaudo P. (2012). Automated text classification using a dynamic artificial neural network model. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10967-10976.
- Görgel, P., Kavlak, E. (2020). Uzun Kısa Süreli Hafıza ve Evrimsel Sinir Ağları ile Rüzgar Enerjisi Üretim Tahmini Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 11(1), 69-80.
- Graupe, D. (2016). *Deep learning neural networks: design and case studies*. World Scientific Publishing Company.
- Guo, Z., Zhao, W., Lu, H. and Wang, J. (2012). Multi-step forecasting for wind speed using a modified EMD-based artificial neural network model. *Renewable Energy*, 37(1), 241–249.
- Koç, E. and Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- Liu, X., Zhou, J., and Qian, H. (2021). Short-term wind power forecasting by stacked recurrent neural networks with parametric sine activation function. *Electric Power Systems Research*, 192, 107011.
- Meteostat, (2021). Retrieved from <https://meteostat.net/en/place/3C73AR>
- Özcan, C. (2021). A review on various analytical techniques for determining rees. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 265-272
- Raeesi, M., Moradzadeh, A., Ardejani, F. D. and Rahimi M. (2012). Classification and identification of hydrocarbon reservoir lithofacies and their heterogeneity using seismic attributes, logs data and artificial neural networks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 82, 151-165.
- Smil, V. (2017). *Energy transitions: global and national perspectives*. ABC-CLIO.
- Şenel M. C. and Koç E. (2015). Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56.
- Şenol, Ü. and Musayev Z. (2017). Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 23-31.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1174444

- The MathWorks. (2021) MathWorks Help Center. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/learnngdm.html;jsessionid=2ad6f2b4ef5e29d82521e22d3324>.
- The MathWorks. (2021) Neural Network Toolbox. Retrieved from <http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/nnet/traingdx.html>.
- TSKB (2020). Türkiye Enerji Kalkınma Bankası Enerji görünümü raporu. Retrieved from <http://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf>
- Tureb, (2021). Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. Retrieved from <https://www.tureb.com.tr/>
- Wu, Y. K. and Hon, J. S. (2007). A Literature Review of Wind Forecasting Technology in the World. Proceedings of the IEEE Conference on Power Tech, Lausanne, 504-509.
- YEKDEM (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması. Retrieved from [https://www.enerjiportali.com/wpcontent/uploads/2020/09/KSD\\_YEKDEM\\_2.09.2020-1-1.pdf](https://www.enerjiportali.com/wpcontent/uploads/2020/09/KSD_YEKDEM_2.09.2020-1-1.pdf)
- Yeşilnacar, Y. O. (2011). Bilecik ilinin yapay sinir ağları ile rüzgâr hızı, basınç ve sıcaklık tahmini. Master's thesis, Bilecik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

## Konu Modelleme ile Çalışan Önerileri Madenciliği: Bir Otomotiv Endüstrisi Vakası

Mine Bozan<sup>1</sup>, Koray Altun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği, Bursa, Türkiye

<sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

mineebozan@gmail.com<sup>ID</sup>, \*koray.altun@btu.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi:21.05.2022, Makale kabul tarihi: 16.11.2022

### Öz

Otomotiv endüstrisindeki yoğun rekabet, sürekli iyileştirme kültürünü zorunlu hale getirmektedir. Çalışan önerileri ve öneri sistemleri bu kültürün önemli bileşenleridir. Öneri sistemlerinin içeriğinin metinlerden oluşması, onları ileri metin madenciliği çalışmaları için uygun veri setleri haline getirmiştir. Çalışan önerilerinin konu modelleme ile analiz edilmesi, en çok hangi konularda öneriler geldiğini, hangi konulara yoğunlaşılması gerektiğini ve gelecekteki iyileştirmelerle ilgili tahminler yapabilmeyi olanaklı hale getirebilecektir. Bu çalışmada, bir otomotiv firmasının çalışan önerilerinin analizi için, konu modellemeye ait yöntemlerden, “Gizli Dirichlet Ayrımı (GDA)” kullanılmıştır. En çok verilen öneri çeşidi, “getirisi olmayan olumlu” önerilerdir. Bu öneriler, genellikle iş sağlığı ve güvenliği ile ilgilidir. İkinci sıradaki en çok verilen öneriler ise “öneri”, firmaya kazanç sağlayan önerilerdir. Üçüncü sırada, “öneriden hızlı kaizene” yani kısa sürede sonuç alınabilen, getirisi yüksek öneriler bulunmaktadır. Dördüncü sırada, “değerlendirilmek üzere havale” edilen öneriler bulunurken, en az verilen öneri türünün ise “devreye alınmayacak öneriler” olduğu değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çalışan önerileri, gizli dirichlet ayrımı, konu modelleme

## Mining the Employee Suggestions through Topic Modeling: An Automotive Industry Case

### Abstract

Intense competition in the automotive industry necessitates the continuous improvement culture. Employee suggestions and suggestion systems are important components of this culture. The fact that content of the suggestion systems consists of texts has made them suitable data sets for advanced text mining studies. Analyzing employee suggestions with topic modeling will make it possible to assess which subjects are most often received, which subjects should be focused on, and to make predictions about the future improvements. In this study, Latent Dirichlet Allocation (LDA), one of the topic modeling methods, was used for the analysis of the employee suggestions of an automotive company. The most common type of suggestion is “positive suggestions with no return”. These recommendations are generally related to occupational health and safety. The second most frequently given suggestions are "suggestions", those are providing profit to the company. In the 3rd rank, there are “fast kaizen from suggestion”, which are high-yielding suggestions that can be achieved in a short time. While the fourth rank most common suggestions are "referred to be evaluated", "recommendations that will not be put into action" suggestions are the least given type.

**Keywords:** Employee suggestions, latent dirichlet allocation, topic modeling

### GİRİŞ

Öneri sistemleri, işletmenin her kademesinde çalışan mavi ve beyaz yaka personellerin katkılarıyla uygulanmaktadır. Çalışan öneri sistemi yenilikçi fikirlerin ortaya çıkmasını, uygulanmasını ve firmanın sürekli iyileştirilmesini sağlamaktadır. Öneriler, genellikle metinlerden oluşmaktadır ve gün

geçtikçe sayıları artmaktadır. Bu nedenle, arama, anlama ve işleme gibi süreçler için ileri veri analitiği araçlarının kullanımına ihtiyaç duyulur aşamaya erişilmiştir.

Konu modelleme, büyük miktardaki metin kaynaklarından anlamlı bilgilere erişebilmek için



uygulanan bir makine öğrenmesi yöntemidir. Doküman kümesini en iyi şekilde karakterize eden sözcük grupları ile benzer ifadeleri otomatik olarak kümeleyebilmektedir. Konu modellemede metinde sıkça birlikte görülen kelimeler kümelenecek soyut konular üretilir ve ilgili metinler içerdikleri kelimelere göre kendisine en yakın olan bir veya daha fazla kümeye atanır.

Çalışan önerilerinin konu modelleme ile analiz edilmesi, en çok hangi konularda öneriler geldiğini, hangi konulara yoğunlaşılması gerektiğini ve gelecekteki öneri ve iyileştirmelerle ilgili tahminler yapabilmeyi olanaklı hale getirebilecektir.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin, 2844 satır metinden oluşan 2021 yılına ait çalışan önerileri, firmanın öneri sistemi üzerinden temin edilmiş ve konu modelleme yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışma, bir kurumun gerçek çalışan önerileri veri setini, konu modelleme yöntemi kullanarak analiz eden, literatürdeki ilk çalışmadır.

## LİTERATÜR TARAMASI

Konu modelleme, bir metin belgesinde “konu” (topic) adı verilen kelime gruplarını bulmak için kullanılan denetimsiz (unsupervised) bir yaklaşımdır. Bu konular, sık sık birlikte ortaya çıkan ve çoğunlukla ortak bir temayı paylaşan kelimelerden oluşmaktadır.

Literatürde, araştırmacılar tarafından geliştirilen mevcut pek çok konu modelleme yöntemi bulunmaktadır.

Vayansky ve Kumar (2020) konu modelleme yöntemleri üzerine kapsamlı ve güncel bir literatür taraması sunmaktadır. Vayansky ve Kumar (2020) çalışmalarında bir karar ağacı da sunmaktadır. Bu karar ağacı, hangi konu modelleme yönteminin kullanılması gerektiği hususunda, yol gösterici bir rehber niteliğindedir.

Konu modelleme yöntemleri arasında en yaygın kullanılanı; “Gizli Dirichlet Ayrımı (GDA)” yöntemidir. Üzerinde çalışılan belgelerdeki kelime sayılarının 50’den fazla olduğu ve çalışılan alan itibarıyla kompleks konu ilişkilerinin öngörülmediği durumlar için GDA kullanımı önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında da GDA yönteminin kullanımı tercih edilmiştir.

GDA’nın ana fikri, konuların sabit bir kelime sözlüğünden olasılık dağılımını içerdiği ve belgelerin gelişigüzel bir şekilde birleşmiş gizli konulardan oluştuğudur. Bu temel fikir, GDA’nın belge

koleksiyonunda bulunan konuları, kelimelerin konuların içindeki olasılıklarını, belgeyi oluşturan kelimelerin atandığı konuları ve bu belge içindeki konuların nasıl dağıldığını öğrenerek ortaya çıkardığını belirtir (Agrawal vd., 2018). Algoritmanın çıktısı, modellenen belge için her konunun kapsamını içeren bir vektördür. Uygun bir şekilde karşılaştırılırsa, bu vektörler, külliyyatın “topikal” özellikleri hakkında fikir verebilir.

Konu modelleme ve GDA çalışmaları literatürde yoğun ilgi görmektedir. Bu nedenle, konu özelinde kapsamlı literatür çalışmalarına rastlamak mümkündür. Kapsamlı bir GDA uygulamaları literatür taraması Jelodar vd. (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Konu modelleme ile ilgili kapsamlı bir diğer çalışma ise Kherwa ve Bansal (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Literatürde “konu modelleme” ve “çalışan (employee)” anahtar kelimeleri ile ulaşılabilen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Symitsi vd. (2021), “Glassdoor” isimli kariyer sitesindeki çalışan yorumlarını (employee online reviews), konu modelleme yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışanların firmaları ile ilgili pozitif ve negatif geri beslemelerinin modellenmesini konu edinmektedir. Bir diğer çalışmada (Schmiedel vd., 2021), Fortune-500 şirketleri çalışanlarının “Glassdoor” yorumları analiz edilmiştir. Konu modelleme yöntemi ile çalışanların kurum kültürü algısı değerlendirilmiştir. Karkhanis vd. (2022), benzer şekilde, “Glassdoor” verilerini konu modelleme yöntemi ile analiz etmiştir. Firma çalışanlarının paylaşımları kullanılarak “işveren markası” ile ilgili çıkarımda bulunulmuştur. Glassdoor verilerinin konu modelleme yöntemi ile analiz edildiği bir diğer çalışma ise Wang vd. (2022). İlgili çalışmada, firmaların çeşitlilik, eşitlik ve kapsayıcılık açısından bir değerlendirmesi sunulmuştur.

Kurum içerisindeki yönetsel faaliyetleri destekleme amacıyla da konu modelleme yöntemini kullanan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Pröllochs ve Feuerriegel (2020), kurumsal stratejik planlama faaliyetlerini destekleme amacıyla konu modelleme yöntemini kullanmıştır. İlgili çalışma, konu modelleme yöntemi ile bir risk iyimserliği analizini bilgisayarlı bir prosedüre dönüştürmüştür.

Konu modelleme yöntemlerinin otomotiv endüstrisindeki uygulamaları da oldukça sınırlıdır. Rhoden vd. (2022), çalışmalarında, otomotiv

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1119552

endüstrisinin sürdürülebilirliği ile ilgili raporların bir değerlendirmesini sunmuştur.

Bu çalışmada, bir otomotiv firmasının “çalışan önerileri” konu modelleme yöntemi ile analiz edilmektedir. Yazarların en iyi bilgisine göre, literatürde ilk defa, “çalışan önerileri” bir konu modelleme yöntemi ile analiz edilmektedir. Bu yönüyle, bu çalışma, literatüre yeni bir konu modelleme, GDA kullanımı vakası sunmaktadır. Benzer çalışmaların endüstri kullanımlarının yaygınlaşması amacıyla, özellikle, bir rehber formatında hazırlanmaya çalışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, bir otomotiv firmasına ait çalışan önerilerinin Gizli Dirichlet Ayrımı yöntemiyle analiz edilmesi sırasında izlenen yöntem tanıtılmaktadır.

Düz yazı içeren metin verileri yapısal olmayan doğal dil formundaki verilerdir. Kurumsal öneri sistemleri vasıtasıyla toplanan çalışan önerileri de bu formasyondaki verilerdir. Metin verilerinden anlamlı değerlendirmelerin otomatik olarak elde edilmesi metin analizi yöntemleri ile mümkündür. Konu modelleme de bu yöntemlerden biridir. Konu modelleme yöntemlerinden en yaygın kullanılanı GDA’dır. Bu çalışmada çalışan önerilerinin analizi için GDA yöntemi tercih edilmiştir.

GDA, Blei vd. (2003) tarafından önerilmiş bir konu modelleme yaklaşımıdır. Metinlerden oluşan dokümanlarda bulunan gizli anlamsal yapıları olasılık temelli modelleme yaklaşımı ile ortaya çıkarmaya çalışmaktadır. Kelime torbası yaklaşımına dayalı olarak çalışan GDA’da, kelimelerin doküman içerisindeki yerleşimi dikkate alınmazken, kelimelerin birlikte bulunma durumu dikkate alınmaktadır (Altıntaş vd., 2021).

Bir GDA analizi için öncelikle, metinlerden oluşan veri setinin analize uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu ön işlemler; tokenizasyon, durdurma sözcükleri (stop words) filtreleme ve kök bulma işlemlerinden oluşmaktadır. Bu ön işlemler sonrasında veri seti doğal dil işleme yöntemleri ile metin madenciliği algoritmalarını kullanmaya uygun hale getirilmiş olur.

Metin verilerindeki kelimeler “token” olarak tanımlanır ve her token için benzersiz bir indeks numarası ile bir sözlük oluşturulur. Bu sözlük yapısı sözcükleri ve onların dizin (id) numaralarını içerir. Sözlük yapısı bir derleme dönüştürülür böylece bağlantılı metinler düzenlenir ve yapısal olarak bir

arada bulunur. Derlem, metindeki kelimelerin dizin numaralarından ve sıklıklarından oluşur. Oluşturulan derlem bir belgenin terim matrisi ve GDA tematik modeli için girdi matrisidir. GDA konu modelleri bir veri ambarı kullanılarak oluşturulur. Daha sonra oluşturulan konu modelleri karşılaştırma ve görselleştirme yoluyla analiz edilir. Konu bazlı modelde aşağıdaki süreç takip edilmiştir:

- Toplanacak metinlerin belirlenmesi: Bu çalışmada, firma çalışanlarının son 1 yılda verdiği öneriler kurumun öneri sisteminden çekilmiştir.

- Metinleri düzenleme süreci: Metindeki veriler temizlenir. Bu işlemde sınıflandırma adımında anlamı olmayan noktalama işaretleri ham verilerden silinir. Daha sonra sayısal karakterler temizlenir ardından metindeki kelimeler normalleştirilir. Normalleştirme yöntemi kullanılarak yazım hatası olan kelimeler belirlenip uygun kelimelere dönüştürülür. Öznitelikler tanımlanmadan önce anlamsız ve kesin olmayan sözcükler normalize edilerek sınıflandırma adımında öznitelikler en aza indirilir. Daha sonra “stop words” filtrelemesi yapılır. Böylelikle değerlendirmeye katılmaması gereken sözcükler kapsam dışı bırakılmış olur. Stop-word filtreleme işlemi için bazı veri setleri belirlenerek ortak bir havuz oluşturulur. Gereksiz kelimeler ile bağlaç, edat vb. kelimelerin metinlerden çıkarılması için bu havuzdaki veriler kullanılır.

- Temizleme işlemleri tamamlandıktan sonra, programsal anlamda ortak bir kümede işlem yapılabilmesi için metinlerin tamamı küçük harfe dönüştürülür.

- Kelimenin köklere indirgenmesi: Normalize edilmiş olan metinlerde bulunan kelimeler köklere ayrılır. Aynı köke sahip olup farklı ekleri bulunan kelimelerin ortaklaştırılmasının sağlanması bu işlemin amacıdır. Bağlaçlar, imleçler, kalıplaşmış kısaltmalar göz önünde bulundurularak, kelimelerin en yalın hale getirilmiş olur.

- Modelin oluşturulması: Kelimeler kök haline getirildikten sonra diziye dönüştürülür. Bu diziler “gensim” kütüphanesinin kullanılmasıyla, token olarak nitelendirilir ve her token için bir dizin numarası üretilir. İlgili diziler sözlük yapısına dönüştürülür. Sözlük haline gelen nesne, sonrasında terimlere ait frekansları içeren “Korpus”a (külliyat) dönüştürülür. Kelime frekans eşleşmesinin ilk indeksinin (0,1) anlamı ilk metin verisindeki kelime indeksi 0 olan sözcüğün tekrarlanma sayısıdır. GDA modeli, frekans ağırlıkları belirlenmiş kelimeler ve



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1119552

belirtilen konu sayısı parametresiyle oluşturulur (Onan vd., 2020).

### Veri Seti

Projede kullanılan veriler 2844 satırdan oluşmaktadır. Veri kümesinde 2 kolon bulunmaktadır.

*Sentiment\_Label = (0 = Öneriden hızlı kaizene, 1 = Getirisi olmayan olumlu öneri, 2 = Değerlendirilmek üzere havale, 3 = Devreye alınmayacak öneri, 4 = Öneri)*

### İş Akışı

Çalışılan bu yöntemde her kelimenin oluşma sıklığı veya terim-sıklığı (TF), ters belge frekansı ile çarpılır ve bir sınıflandırıcıyı eğitmek için öznitelik değerleri olarak TF-IDF puanları kullanılır. Ayrıca n-gram modelinin başka bir yaygın vektör temsil modeli olduğunu, ancak hangisinin en iyi sonuç verdiği dair kesin bir cevap olmadığı bilinmektedir, bu verilerin performansına bağlıdır. Metin analizinin aşamaları Şekil-1’de gösterilmiştir.

“Azure Machine Learning” kullanımı bu aşamaları gerçekleştirebilmek için tercih edilmiştir. Literatürde de benzer farklı uygulamaları yer almaktadır (bkz. Alrumayyan vd., 2018; Khaleg ve Ra, 2019; Balasubramanian vd., 2021).

1-4 adımlar, metin sınıflandırma modeli eğitim aşamasını temsil eder. Bu aşamada, metin örnekleri Azure ML deneyine yüklenir, metin temizlenir ve filtrelenir. Temizlenen metinden farklı türde sayısal öznitelikler çıkarılır ve modeller farklı öznitelik türleri üzerinde eğitilir. Son olarak, eğitilen modellerin performansı, görünmeyen metin örnekleri üzerinde değerlendirilir ve bir dizi değerlendirme kriterine göre en iyi model belirlenir.

5a ve 5b adımlarında, en doğru model, RRS (Request Response Service) veya BES (Toplu

Yürütme Hizmeti) kullanılarak yayınlanmış bir web hizmeti olarak dağıtılır. RRS kullanırken, aynı anda yalnızca bir metin örneği sınıflandırılır. BES kullanırken, aynı anda sınıflandırma için bir grup metin örneği gönderilebilir. Bu web hizmetlerini kullanarak, büyük ölçüde geliştirilmiş verimlilik için harici bir çalışan veya “Azure Data Factory” kullanarak paralel olarak sınıflandırma gerçekleştirebilir.

### Uygulama

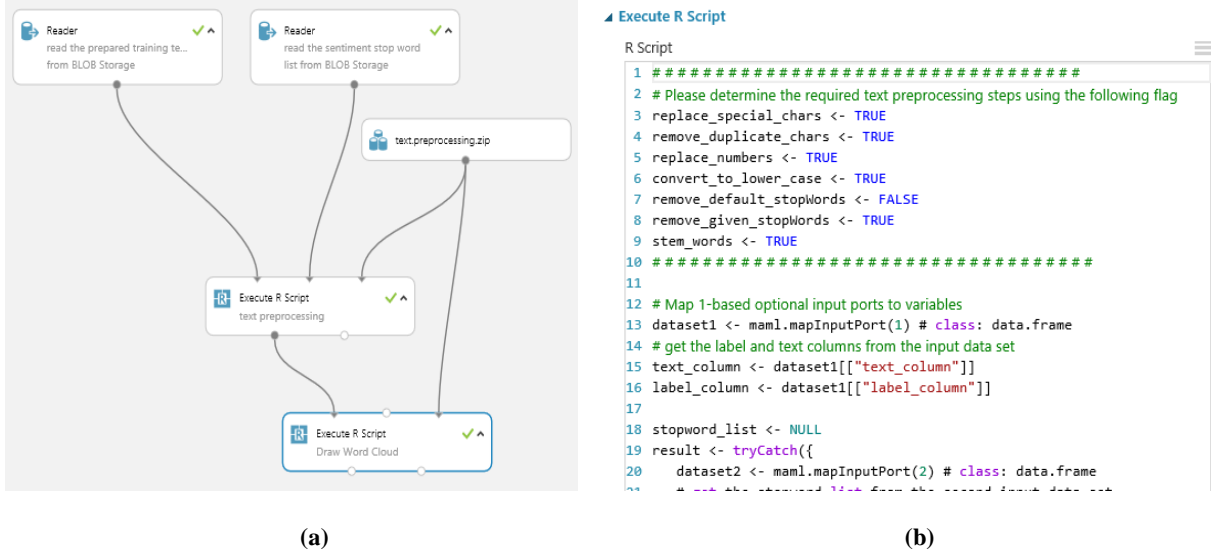
“Microsoft Azure ML” programı üzerinde veri ön işleme aşamalarının akışı Şekil-2’de gösterilmiştir. Metinler genellikle analiz edilmeden önce bir miktar ön işleme gerektirir. Bu aşama, özel karakterleri ve noktalama işaretlerini boşluklarla değiştirme, büyük/küçük harfe normalleştirme, yinelenen karakterleri kaldırma, kullanıcı tanımlı veya yerleşik durdurma sözcükleri kaldırma ve sözcük köklendirme gibi bir dizi isteğe bağlı metin ön işleme ve metin temizleme adımını içerir. Bu adımlar, R programlama dili kullanılarak uygulanır.

Özel karakterleri boşluklarla değiştirmek gerekiyorsa parametre “replace\_special chars” TRUE olarak ayarlanır. Parametre “remove\_duplicate\_chars” için TRUE ayarlanır. Sayıların boşluklarla değiştirilmesi gerekiyorsa parametre “replace\_numbers” TRUE olarak ayarlanır. Bazı metin sınıflandırma görevleri için, eğitim için ayırt edici özellikler olarak sayılar kullanılmalıdır. Metni küçük harfe dönüştürmek gerekiyorsa parametre “convert\_to\_lower\_case” TRUE olarak ayarlanır. Önceden tanımlanmış bir ortak sözcük listesi kullanarak metinden durdurma sözcüklerini kaldırmak gerekirse, parametre “remove\_default\_stopWords”, TRUE olarak ayarlanır.



Şekil 1. Metin analizi aşamaları

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1119552



Şekil 2. Microsoft Azure’da veri işleme aşamaları (a) ve R kodlamaları (b)

Tanımlanmış ortak sözcükler listesini kullanarak metinden durdurma sözcüklerini kaldırmak gerekirse, parametre “remove\_given\_stopWords” TRUE olarak ayarlanır. Durdurma sözcüklerinin uygulamaya bağlı olduğu unutulmamalıdır. Yani bir kelime, bir uygulama için sık görülen, ayırım yapmayan bir özellik olarak kabul edilebilirken, başka bir uygulama için anahtar özellik olarak kabul edilebilir. Örneğin, “iyi, kötü, harika” gibi kelimeler haber makaleleri kategorizasyonu için durak kelimeleri iken duyguyu ifade etmenin temel özellikleridir. Kelimeleri köklendirmek gerekiyorsa parametre “stem\_words” TRUE olarak ayarlanır.

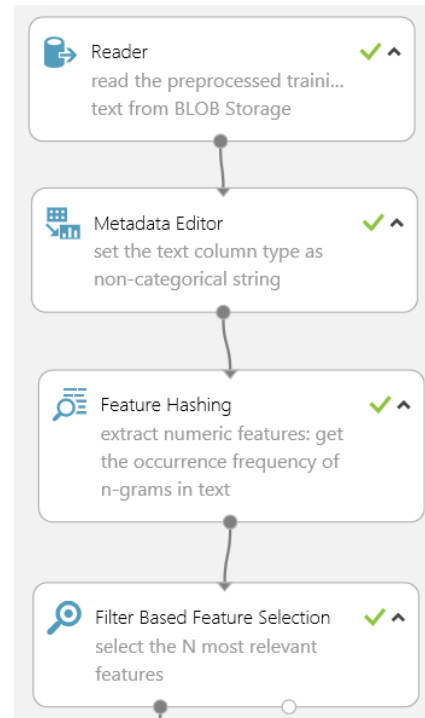
Köklendirme, çekimli (veya bazen türetilmiş) kelimeleri kelime kökü, taban veya kök biçimlerine indirgeme işlemidir. Örneğin, “bağlı”, “bağlanmış”, “bağlanan”, “bağlanmayan” kelimeleri “bağla” ile eşleştirilir.

Microsoft Azure programı üzerinde özellik seçimi aşamalarının akışı Şekil-3’te gösterilmiştir.

Eğitilmiş bir modelin sınıflandırma süresi ve karmaşıklığı, özneliklerin sayısına bağlıdır. Destek vektör makinesi gibi doğrusal bir model için karmaşıklık, özellik sayısına göre doğrusaldır. Metin sınıflandırma görevleri için, kelime dağarcığındaki her bir kelime ve her bir n-gram bir özelliğe eşlendiğinden, özellik çıkarımından kaynaklanan özelliklerin sayısı yüksektir.

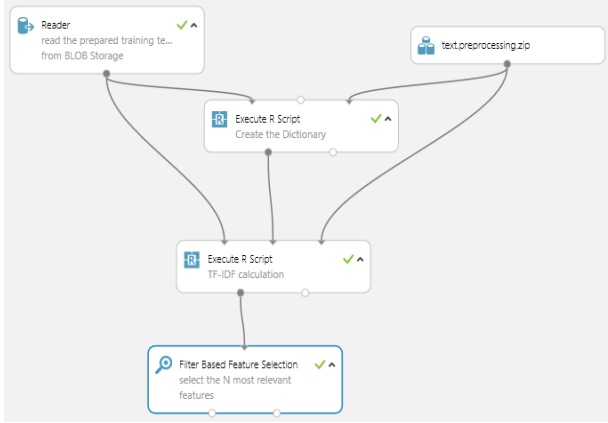
Ayıklanan karma özelliklerin kapsamlı listesinden daha kompakt bir özellik alt kümesi seçmek için “Filtre Tabanlı Özellik Seçimi”

kullanıldı. Amaç, “boyutsallık” etkilerinden kaçınmak ve sınıflandırma doğruluğuna zarar vermeden hesaplama karmaşıklığını azaltmaktır.  $2^{15}$  ayıklanan özelliklerden duygu etiketine göre en alakalı ilk 2.000 özelliği elde etmek için, “hash” özelliklerini azalan düzende sıralamak için Ki-kare puanı işlevi kullanıldı.



Şekil 3. Özellik seçimi

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1119552



Şekil 4. Özellik çıkarımı akışı

Unigrams TF-IDF özellik çıkarma işlemi (Adım 3b) için ilk olarak, metin modelini eğitmek için kullanılacak unigram (kelime) seti çıkarılır. Unigramlara ek olarak, metin külliyyatında her kelimenin görüldüğü belge sayısı sayılır (DF).

Sözlüğü metin modelini eğitmek için kullanılan aynı etiketli veriler üzerinde oluşturmak gerekli değildir. Hedef ile açıklama eklenmemiş olsa bile sınıflandırmanın hedef alanındaki kelimelerin sıklığını adil bir şekilde temsil eden herhangi bir büyük bütünlük kullanılabilir. Özellik çıkarımının Microsoft Azure üzerindeki akışı Şekil-4'te gösterilmiştir.

Bir belgede metrik sözcük oluşum sıklığı (TF) bir özellik değeri olarak kullanıldığında, bir korpusda (durdurma sözcükleri gibi) sıkça görülen sözcüklere daha yüksek bir ağırlık atanma eğilimi gösterir. Ters belge sıklığı (IDF), sık kullanılan sözcüklere daha düşük bir ağırlık verdiği için daha iyi bir ölçümdür.

IDF, eğitim külliyyatındaki belge sayısının verilen kelimeyi içeren belge sayısına oranının günlüğü olarak değerlendirilir. Bu sayıları bir metrikte (TF/IDF) birleştirmek, belgede sık görülen ancak bütüncede nadir bulunan sözcüklere daha fazla önem verir.

Bu, yapılandırılmamış metin verilerini her özelliğin bir metin örneğindeki bir unigramın TF-IDF'sini temsil ettiği eşit uzunluktaki sayısal özellik vektörlerine dönüştürür.

Hash özelliklerini azalan düzende sıralamak için Ki-kare puanı işlevi kullanılmıştır ve çıkarılan tüm unigramlardan duygu etiketine göre en alakalı ilk 2.000 özellik döndürülmüştür.

Modellerin eğitimi ve değerlendirilmesi işlemi şu şekilde ilerlemiştir; Verileri iki alt kümeye bölmek

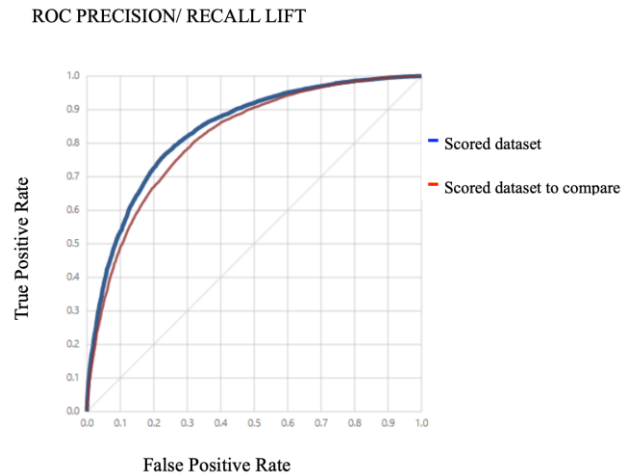
için ilk Bölme modülü kullanılmıştır. İlk alt küme modeli eğitmek için kullanılmıştır ve ikinci alt küme, bir sonraki adımda geliştirme/doğrulama kümesi ve test kümesine bölünmektedir.

Veriler sırasıyla %70 ve %30 olarak ayrılmıştır. İkinci alt küme eğitilen modelin performansını değerlendirmek için test kümesi olarak kullanılmıştır. %30 veri örneği ikiye bölünmüştür. Geliştirme setinin ve test setinin her biri girdi verilerinin %15'ini temsil etmektedir.

“Sweep” parametreleri altında yatan öğrenme algoritması parametrelerinin optimum değerlerini almak için örnek denemede parametre tarama modu, modülün parametre aralıklarından bir dizi eğitim çalıştırması gerçekleştirmek için “Rastgele” tarama olarak ayarlanmıştır.

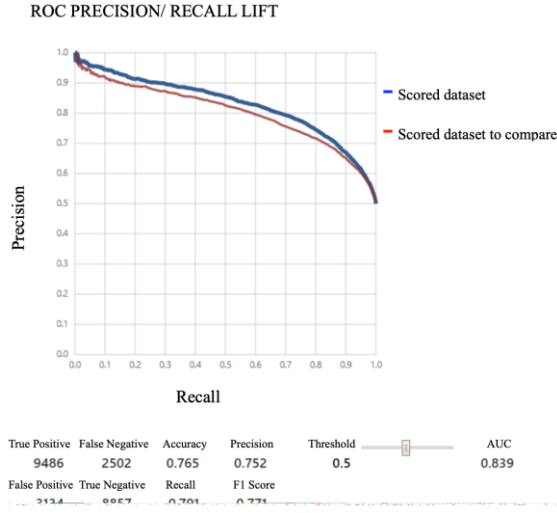
Her bir parametrenin olası tüm değerlerini keşfetmek için bir parametre süpürme modu olarak “tüm ızgara” seçeneği kullanılmıştır.

Şekil-5'te “Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi” (ROC - Receiver Operating Characteristic Curve) verilmiştir. Makine öğrenmesinde bir sınıflandırma probleminin performansının değerlendirilmesinde ROC eğrisinden yararlanır. Bu eğri modelin tahmininin ne derecede iyi olduğunu açıklar. AUC, “ROC Eğrisi altındaki alan” anlamına gelir. Kapsanan alan ne kadar büyükse, makine öğrenme modelinin verilen sınıfları ayırt etme yeteneğinin de o kadar iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 5. ROC eğrisi

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1119552

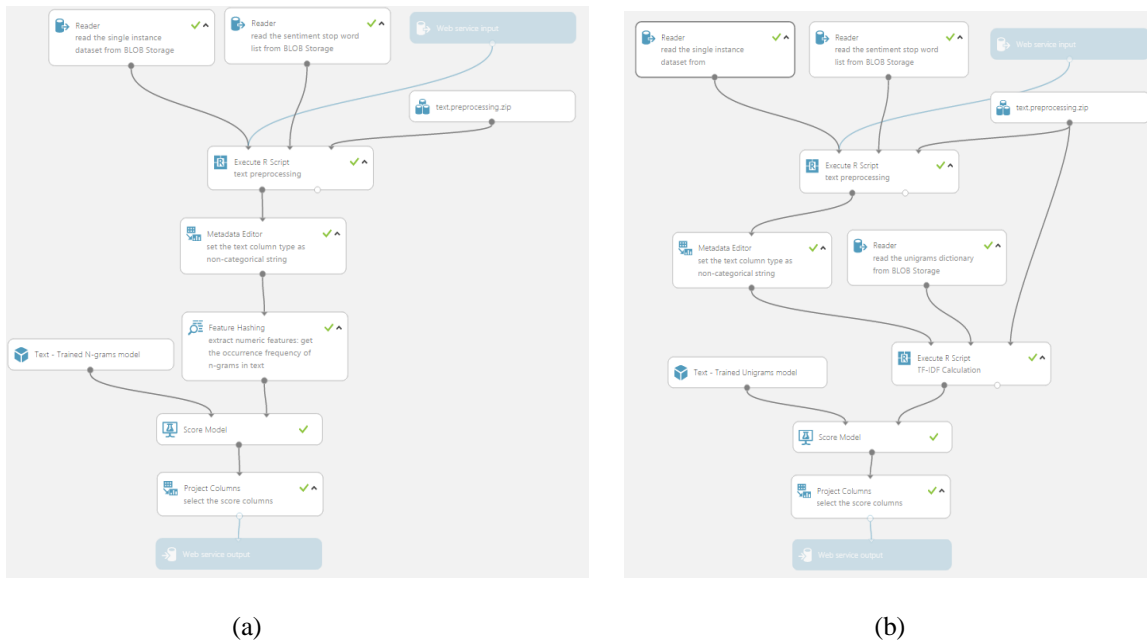


Şekil 6. Hassasiyet/Geri çağırma eğrisi

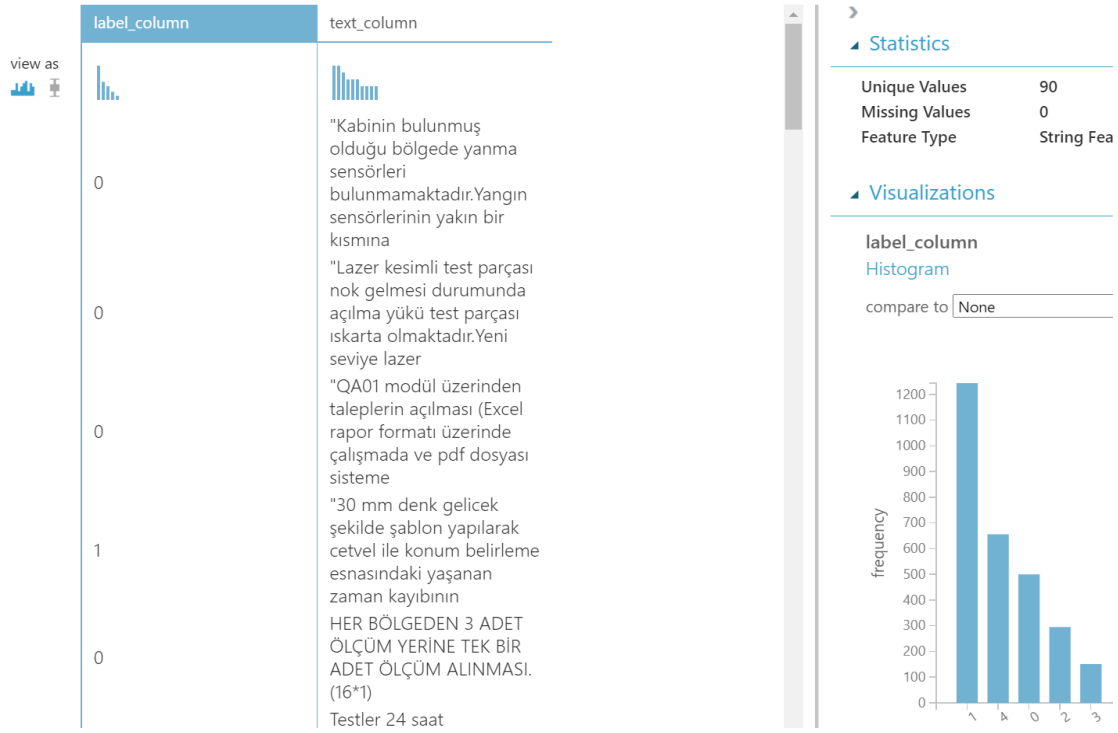
Şekil-6'da Hassasiyet / Geri çağırma (Precision/Recall) grafiği verilmiştir. Hassasiyet/Geri çağırma, sınıflar çok dengesiz olduğunda tahmin başarısının bir ölçüsüdür. Bilgi alımında hassasiyet, sonuç alaka düzeyinin bir ölçüsüyken, geri çağırma, gerçekten alakalı kaç sonucun döndürüldüğünün bir ölçüsüdür. Eğrinin altındaki yüksek alan hem yüksek geri çağırma hem de yüksek kesinliği (hassasiyeti)

temsil eder; burada yüksek hassasiyet, düşük yanlış pozitif oranıyla ve yüksek geri çağırma, düşük yanlış negatif oranıyla ilgilidir. Her ikisi için de yüksek puanlar, sınıflandırıcının doğru sonuçlar verdiğini (yüksek kesinlik) ve ayrıca tüm olumlu sonuçların çoğunluğunu (yüksek hatırlama) gösterir.

Eğitilmiş modellerin web hizmetleri olarak dağıtım akışı ve çıktısı Şekil-7'de gösterilmektedir. Web hizmeti iki mod ile türetilebilir: RRS (istek-yanıt hizmeti) ve BES (toplu yürütme hizmeti). Adım 4'te eğitilmiş N-gram TF metin modelini bir web hizmeti olarak dağıtılır. Web servis giriş ve çıkış noktaları, özel Web Servis modülleri kullanılarak tanımlanır. Web hizmeti giriş modülü, deneydeki giriş verilerinin gireceği düğüme eklenir. Yürütme R Senaryo modülünde, Adım 2.2'de tanımlanan aynı parametreler kullanılarak gerekli metin ön işleme adımları belirtilir. Özellik "hashing" modülünde, "hashing bitsize" parametresi kullanılarak aynı sayıda bit ve Adım 3a'da tanımlanan parametre kullanılarak aynı n-gram boyutu belirtilir. Web hizmeti giriş noktası ayarlanır. Web hizmeti çıkış noktası ayarlanır. Deneme tuvalinin altındaki "Web Hizmetini Yayınla" seçilir. "Unigrams TF-IDF" tarafından eğitilmiş model bir web hizmeti olarak yayınlanarak kullanıma alma işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 7. Web hizmeti akışı (a) ve çıktısı (b)



Şekil 8. “Duygu Etiketleri” Histogram Grafiği

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Eğitim için gerekli veriler yüklenip analiz tamamlandıktan sonra Şekil-8’de gösterildiği gibi “sentiment\_label” histogram grafiği çıkarılmıştır.

Etiketlerin temsil ettiği kümeler aşağıdaki gibidir;

- 0 = Öneriden hızlı kaizene,
- 1 = Getirisi olmayan olumlu öneri,
- 2 = Değerlendirilmek üzere havale,
- 3 = Devreye alınmayacak öneri,
- 4 = Öneri

Histogram grafiğinde görüldüğü gibi; en çok verilen öneri çeşidi “getirisi olmayan olumlu öneri” dir. Bu öneriler genellikle iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olmaktadır. İkinci sıradaki en çok verilen öneriler ise “öneri” yani getirisi olan, firmaya kazanç sağlayan önerilerdir. Üçüncü sırada “öneriden hızlı kaizene” yani çok kısa sürede sonuç alınabilen, getirisi yüksek öneriler bulunmaktadır. Dördüncü sırada “değerlendirilmek üzere havale” edilen öneriler bulunurken, en az verilen öneri türünün ise “devreye alınmayacak öneriler” olduğu görülmektedir.

Günümüzde, çalışan önerileri, inovasyon sistemlerinin kritik bileşenlerinden biri olmuştur. Çalışanlar, önerileri ile kurumsal inovasyon sistemlerine önemli katkılar sunabilmektedir. Yüksek katılım oranları ise genellikle performans göstergesi olarak takip edilmektedir. Zamanla miktarı artan çalışan önerilerinin değerlendirilmesi ve seçimi de zorlaşmaktadır.

Bu aşamada, makine öğrenmesi uygulamaları önemli katkılar sunma potansiyeline sahiptir. Yapısı ve kurumlar açısından önemi itibarıyla, “çalışan önerileri”, makine öğrenmesi uygulamaları için oldukça uygun veri setidir ve yüksek katma değer sağlayacak niteliktedir.

Çalışan önerileri, maliyet avantajı ile rekabet ortamında oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada otomotiv endüstrisinden bir uygulama sunulmuştur.

Yıl içerisinde sisteme gelen çalışan önerilerinin sayıları binleri bulmaktadır. Çalışan önerilerinin konu modelleme yöntemleri ile değerlendirilmesi bir zorunluluk haline gelmektedir. Farklı endüstri uygulamaları, gelecek çalışmaların konusu olabilir.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1119552

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

### ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

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

### KAYNAKLAR

- Agrawal, A., Fu, W. ve Menzies, T. (2018). What is wrong with topic modeling and how to fix it using search-based software engineering. *Information and Software Technology*, 98, 74-88.
- Alrumayyan N., Bawazeer S., AlJurayyad R. ve Al-Razgan M. (2018). Analyzing User Behaviors: A Study of Tips in Foursquare. In: Alenezi M., Qureshi B. (eds) 5th International Symposium on Data Mining Applications. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 753. Springer, Cham.
- Altıntaş, V., Albayrak, M. ve Topal, K. (2021). Kanser hastalığı paylaşımları için Dirichlet ayrımı ile gizli konu modelleme. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 2183-2196.
- Balasubramanian S., Kaitheri S., Nanath K., Sreejith S. ve Paris C.M. (2021). Examining Post COVID-19 Tourist Concerns Using Sentiment Analysis and Topic Modeling. In: Wörndl W., Koo C., Stienmetz J.L. (eds) *Information and Communication Technologies in Tourism 2021*. Springer, Cham.
- Blei, D.M., Ng, A.Y. ve Jordan, M. I. (2003). Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 993-1022.
- Jelodar, H., Wang, Y., Yuan, C., Feng, X., Jiang, X., Li, Y. ve Zhao, L. (2019). Latent Dirichlet allocation (LDA) and topic modeling: models, applications, a survey. *Multimed Tools Appl*, 78, 15169–15211.
- Karkhanis, G. V., Chandnani, S. U., ve Chakraborti, S. (2022). Analysis of employee perception of employer brand: A comparative study across business cycles using structural topic modelling. *Journal of Business Analytics*, 1-17.
- Khaleq A. A. ve Ra I. (2019). Twitter Analytics for Disaster Relevance and Disaster Phase Discovery. In: Arai K., Bhatia R., Kapoor S. (eds) *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2018*. FTC 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 880. Springer, Cham.
- Kherwa, P. ve Bansal, P. (2018). Topic Modeling: A Comprehensive Review. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*, 159623.
- Onan, A., Yalçın, A. ve Atik, E. (2020). Üniversite bilgi yönetim sistemi servis destek taleplerinin konu modelleme tabanlı analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, 389-397.
- Pröllochs, N. ve Feuerriegel, S. (2020). Business analytics for strategic management: Identifying and assessing corporate challenges via topic modeling. *Information & Management*, 57, 103070.
- Rhoden, I., Ball, C. S., Vögele, S. Ve Kuckshinrichs, W. (2022). Minding the gap-relating disclosure to contexts of sustainability reporting in the automotive industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 1-12.
- Schimiedel, T., Müller, O. ve Brocke, J. V. (2019). Topic modeling as a strategy of inquiry in organizational research: A tutorial with an application example on organizational culture. *Organizational Research Methods*, 22 (4), 941-968.
- Symitsi, E., Stamolampros, P., Daskalakis, G. ve Korfiatis, N. (2021). The informational value of employee online reviews. *European Journal of Operational Research*, 288, 605–619.
- Vayansky, I. ve Kumar, S. A. P. (2020). A review of topic modeling methods. *Information Systems*, 94, 101582.
- Wang, W., Dinh, J., Jones, K. S., Upadhyay, S. ve Yang, J. (2022). Machine learning text analysis of corporate diversity statements predicts employees' online ratings. *Academy of Management Proceedings*, 15107.

## Analysis of the Essential Oil Composition, Antimicrobial Activity and Antioxidant Capacity of *Fumaria asepal* Boiss. and *Fumaria schleicheri* Soy.Will. subsp. *microcarpa* Hausskn. from Turkey

Pelin Yılmaz Sancar

Firat University, Faculty of Science, Department of Biology, Elazığ, Türkiye  
peyilmaz@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Received date:18.03.2022, Accepted date: 18.11.2022

### Abstract

This study aims to determine the antimicrobial and antioxidant activities of essential oil components and methanol extracts of *Fumaria asepal* Boiss. (Akşahtere) and *Fumaria schleicheri* Soy.-Will. subsp. *microcarpa* Hausskn. (Şahtere) species grown in Turkey. While essential oils were isolated by the hydrodistillation method, the analysis of these oils was determined by GC/MS device. According to the results obtained, the main component of the essential oil of *F. asepal* is Phytol (20.74%), followed by Thymol (20.42%), Benzyl Benzoate (15.89%), and Hexahydrofarnesyl acetone (12.92%); It was determined that the main component of the essential oil of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* is Benzyl Benzoate (29.07%), followed by Hexahydrofarnesyl acetone (19.72%), n-Hexadecanoic acid (11.40%) and Phytol (10.04%). The disk diffusion method was used to determine its antimicrobial effects. The above-ground parts of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* showed the best antimicrobial effect against *K. pneumoniae*-ATCC 700603 (25mm), while *F. asepal* showed the best antimicrobial effect against *S. aureus*-ATCC 25923 (24mm) and *K. pneumoniae* (24mm). To determine their antioxidant effects, total antioxidant level (TAS) and total oxidant level (TOS) were determined. It was determined that the TAS value of the methanol extract of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* at a concentration of 1 mg/ml was 2.8314 mmol, and the TOS value of *F. asepal* was 3.1610 mmol at the same concentration. It was determined that the total oxidant levels in both species were high.

**Key words:** Antimicrobial activity, antioxidant capacity, *Fumaria*, essential oil

## Türkiye'den *Fumaria asepal* Boiss. ve *Fumaria schleicheri* Soy.-Will. subsp. *microcarpa* Hausskn. 'nın Uçucu Yağ Bileşenleri ile Antimikrobiyal Aktivitesi ve Antioksidan Kapasitesinin Analizi

### Öz

Bu çalışmada, Türkiye'de yetişen *Fumaria asepal* Boiss. (Akşahtere) ve *Fumaria schleicheri* Soy.-Will. subsp. *microcarpa* Boiss. ex Hausskn. (Şahtere) türlerinin uçucu yağ bileşenleri ile metanol ekstraktlarının antimikrobiyal ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uçucu yağlar hidrodistilasyon yöntemi ile izole edilirken, bu yağların analizi GC/MS cihazı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre *F. asepal*'nin uçucu yağının esas bileşeninin Phytol (%20.74) olduğu, bunu Thymol (%20.42), Benzyl Benzoate (%15.89) ve Hexahydrofarnesyl acetone (%12.92)' in izlediği; *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*'nın ise uçucu yağının esas bileşeninin Benzyl Benzoate (%29.07) olduğu ve bunu sırasıyla Hexahydrofarnesyl acetone (%19.72), n-Hexadecanoic acid (%11.40) ve Phytol (%10.04)' ün izlediği saptanmıştır. Antimikrobiyal etkilerini tespit etmek için disk difüzyon yöntemi kullanılmıştır. *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*'nın toprak üstü kısımları en iyi antimikrobiyal etkiyi *K. pneumoniae*'e- ATCC 700603 (25mm) karşı gösterirken, *F. asepal* ise en iyi antimikrobiyal etkiyi *S. aureus*-ATCC 25923 (24mm) ve *K. pneumoniae*'e karşı (24mm) göstermiştir. Antioksidan etkilerini belirlemek için toplam antioksidan seviyesi (TAS) ve toplam oksidan seviyesi (TOS) tespit edilmiştir. *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*'nın 1 mg/ml konsantrasyonda metanol ekstresinin TAS değeri 2.8314 mmol olduğu, *F. asepal*'nin TAS değerinin aynı konsantrasyonda 3.1610 mmol olduğu tespit edilmiştir. Her iki türün toplam oksidan seviyelerinin ise yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Antimikrobiyal aktivite, antioksidan kapasite, *Fumaria*, uçucu yağ

## INTRODUCTION

In recent years, the high side effects of synthetic drugs and the search to support treatment with natural products have brought traditional and complementary medicine practices to the fore. It is thought that the use of herbal products rich in biologically active components for this purpose may be an important alternative in reducing high drug costs (Coban et al., 2003; Goncalves and Romano, 2016).

The World Health Organization (WHO) reported that the number of medicinal and aromatic plants used worldwide is approximately 20,000, of which 4,000 are widely used for therapeutic purposes, and around 2,000 medicinal/aromatic plants are traded worldwide, and around 500 in western Europe (Baydar, 2005; Craker et al., 2003).

Turkey; In addition to its geographical structure, it is in an important position in terms of biological richness and is one of the few countries with climatic conditions suitable for the cultivation of medicinal and aromatic plants. Turkey, with its wide area and rich diversity of medicinal and aromatic plants, is in a remarkable position for the trade of these plants. Medicinal and aromatic plants exported from Turkey or demanded in the domestic market are generally collected from the flora of Turkey (Kan, 2005). Plant extracts have been used by humans in traditional medicine for thousands of years. These essential oils obtained from medicinal and aromatic plants have an important market in the world. Among the more than 3000 known essential oils, 300 of them have an important place for the pharmaceutical, agricultural, and food industries, especially; It is used in the cosmetics and perfume industry, in the production of soap, detergent, and toothpaste (Bayaz, 2014).

The genus *Fumaria* L. (Papaveraceae) consists of about 60 species (Pérez-Gutiérrez et al., 2012) and is widespread throughout the European continent, particularly the Mediterranean region and Eastern and Western Europe (Tutin et al., 2010). *Fumaria* species are frequently confused with each other because they have very similar morphological features (Păltinean et al., 2013). Therefore, the identification of species belonging to this genus is based on some specific morphological character, for example, presence or

absence of sepals, sepal length, fruit shape, fruit length, fruit stalk, and bracteole length (Păltinean et al., 2013; 2015). Studies have shown that *Fumaria* species are extremely rich sources in terms of alkaloid content. In addition to the alkaloid content, the presence of different types of flavonoids, steroid compounds, and organic acids has been determined (Sousek and Guedon, 1999). Antifungal (Moghtader, 2013), antibacterial (Khamtache- Abderrahima et al., 2016), and anti-inflammatory (Bribi et al., 2016) activities of these species are mentioned in the literature. These activities are especially dependent on the isoquinoline alkaloids found in the plant and protopine is the most common among them (Vrancheva et al., 2012).

This study aims to determine the antimicrobial and antioxidant activities and essential oil composition of two species belonging to the genus *Fumaria* used for medical purposes. This study, while determining the essential oils in the plant, was also aimed to determine the presence and limits of the antioxidant capacity with the antimicrobial effect it shows against some bacteria and fungus species. Thus, it is aimed to contribute to the studies that have been done and will be done about providing raw materials for new therapeutics from plants that naturally grow in Turkey and have medicinal properties. In this study, antioxidant and antimicrobial activities and essential oil content of *Fumaria asepala* Boiss. and *Fumaria schleicheri* Soy.-Will. subsp. *microcarpa* Boiss. ex Hausskn., which were collected from Elazığ province (Turkey) for the first time, were determined.

## MATERIAL AND METHODS

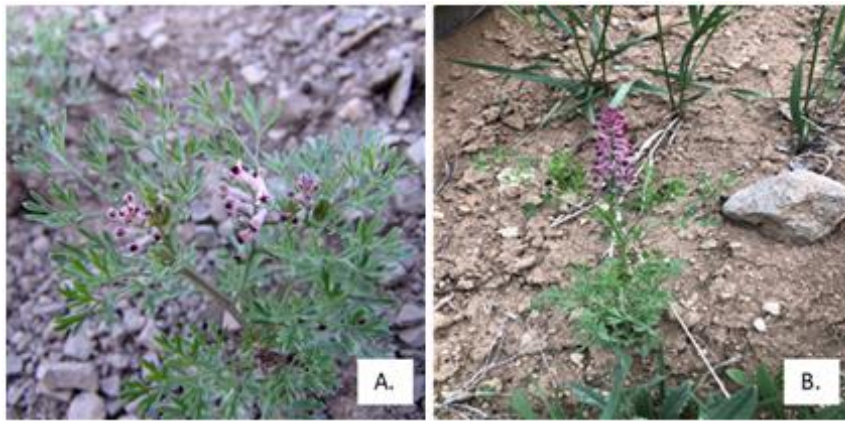
### Collection of the plant materials

Plant specimens were collected as flowering plants from their natural environment in April 2021 and were brought to the Fırat University Herbarium (FUH) and identified. The collected plants were ventilated and dried in the shade in terms of suitability for the study. Detailed locality information and general view of the samples are given in Table 1 and Figure 1.



**Table 1.** Detailed location information in studied taxa

Taxa	Collector	Collection Date	Detailed localities of taxa
<i>Fumaria asepalala</i>	PYS- 1005	13.05.2021	B7 Elazığ: Baskil- Sancaklı village inner road, 1410 m. Lat: 38°35'13.061" Lon: 38°55'23.055" (Collected samples show distribution in the same location)
<i>Fumaria schleicheri</i> subsp. <i>microcarpa</i>	PYS-1006	13.05.2021	

**Figure 1.** General view of *F. asepalala* (A) and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* (B)

### Isolation of the Essential Oils

In recent years, drying methods have been used effectively in isothermal and non-isothermal systems in the first step of essential oil studies. In this study, plants were air-dried and the hydrodistillation method was used to obtain oil from dried plants. A total of 250 g of the dried plant was used for the essential oil obtained by using the Clevenger type apparatus for approximately 4 hours. The resulting essential oil was dissolved over anhydrous sodium sulfate and stored at +4°C until analysis (Demirpolat et al., 2017).

### Determination of the antimicrobial effect

In this study; Bacteria such as *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603), *Escherichia coli* (ATCC 25322), *Bacillus megaterium* (DSM32) and *Pseudomonas aeruginosa* (DMS 50071) and *Candida albicans* (FMC17) as fungus were used. Microorganism cultures were obtained from the culture collection of Fırat University, Faculty of Science, Department of Biology, Microbiology Laboratory (Turkey).

Extracts were obtained from the plant samples, which were kept by drying in the open air, after they were powdered in a mortar, 50 g were taken and kept

in 100 ml of 96% methanol for 2 days in a shaking oven (Inci et al., 2021).

The antimicrobial activity of the methanol extracts of the samples was determined by the disk diffusion method (Collins and Lyne, 2004). Bacterial strains (*S. aureus*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *B. megaterium*) were inoculated into the nutrient broth (Difco) for 24 hours at 35±1°C, yeast strain (*C. albicans* FMC17 in malt extract-Difco) was incubated at 25±1°C for 48 hours. Culture of the prepared bacteria and yeast in broth, respectively; After being inoculated into MHA and SDA at a rate of 1% (10<sup>6</sup> bacteria/ml, 10<sup>4</sup> yeast/ml) thoroughly shaken, 25 ml were placed in sterile petri dishes with a diameter of 9 cm to ensure homogeneous distribution of the medium. Antimicrobial discs with a diameter of 6 mm impregnated with 100 µl of extracts (1000 µg/disc) were placed lightly on the solidified agar medium (Ereçevit Sönmez and Cakilcioglu, 2022).

After keeping the petri dishes prepared in this way for 1.5-2 hours at 4°C, the bacteria inoculated plates were incubated at 37±0.1°C for 24 hours, and the yeast inoculated plate at 25±0.1°C for 72 hours. Standard discs were used for the control

(Streptomycin sulfate 10 µg / disc, Nystatin 30 µg/disc). Dimethyl sulfoxide (DMSO) was used for negative control. At the end of the period, the inhibition zones formed on the medium were evaluated in mm.

#### Determination of total antioxidant and oxidant activity

Total antioxidant status (TAS) and total oxidant status (TOS) of plant extracts were determined with Rel Assay kits (Rel Assay Kit Diagnostics, Turkey). TAS value was expressed as mmol Trolox equiv./L and Trolox was used as the calibrator 15. The TOS value was expressed as µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> equiv./L and hydrogen peroxide was used as the calibrator 16.

### RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of the essential oil obtained by hydrodistillation of the aerial parts of *F. asepalae* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* examined in this study was carried out using the GC-MS technique. As a result of the analysis of this oil obtained, 31 components in *F. asepalae* and 26 components in *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* were determined in total. While these components constitute approximately 90.36% of the total fat in *F. asepalae*, they constitute approximately 91.05% of the total fat in *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*. The essential oil yield of the plant was determined as 0.2% (v/w) in *F. asepalae* and 0.3% (v/w) in *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*. For *F. asepalae*, the major components of the essential oil are respectively; Phytol (20.74%), Thymol (20.42%), Benzyl Benzoate (15.89%), and Hexahydrofarnesyl acetone (12.92%). For *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*; Benzyl Benzoate (29.07%), Hexahydrofarnesyl acetone (19.72%), n-Hexadecanoic acid (11.40%), and Phytol (10.04%). It has been determined that other components in the essential oil are present in small amounts and show qualitative and quantitative changes. Data showing the detailed essential oil components of the plants are given in Table 2.

The antimicrobial effects of methanol extracts of the aerial parts of *F. asepalae* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* are shown in Table 3. Antimicrobial effects of methanol extracts of aerial parts of *F. asepalae* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*; It has been studied against *E. coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *B. megaterium*, *P. aeruginosa*, and *C.*

*albicans*. According to the results obtained, the methanolic extract of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* formed 20 mm, 21 mm, 25 mm, 19 mm, 20 mm, and 18 mm inhibition zones against the studied microorganisms, respectively while the methanolic extract of *F. asepalae* also formed an inhibition zone of 19 mm, 24mm, 24mm, 16mm, 19mm, and 15 mm, respectively, against the studied microorganisms. In Streptomycin sulfate 10 µg/disc used as a control, its antimicrobial effect was at different rates against *E. coli* (30mm), *S. aureus* (20mm), *K. pneumoniae* (19mm), *B. megaterium* (25mm), *P. aeruginosa* (25mm) while Nystatin 30 µg/disc formed a 20mm inhibition zone against *C. albicans*. The aerial parts of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* showed the best antimicrobial effect against *K. pneumoniae*, while *F. asepalae* showed the best antimicrobial effect against *S. aureus* and *K. pneumoniae*.

The TAS value of the methanol extract of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* at a concentration of 1 mg/ml was calculated as 2.8314 mmol and the TOS value as 11.4030 µmol. The TAS value of the methanol extract of *F. asepalae* at the same concentration was determined as 3.1610 mmol and the TOS value as 12.7724 µmol (Table 4).

The results obtained showed that the total antioxidant levels in both species were very good, however, the total oxidant levels were high.

So far, no study available in the scientific literature has provided sufficient data on the antimicrobial and antioxidant activity of *F. asepalae* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* with comprehensive phytochemical analyzes. In this study, we tried to determine the essential oil components and antimicrobial and antioxidant activities of *F. asepalae* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* grown in Turkey for the first time. Phytol (florasol, phytosol), which is a major element in the chemical content of *F. asepalae*, is acyclic diterpene alcohol that can be used as a precursor for the production of synthetic forms of vitamin E (Netscher, 2007) and vitamin K<sub>1</sub> (Daines et al., 2003). Thymol (also known as 2-isopropyl-5-methylphenol, IPMP) is a natural monoterpenoid phenol derivative and isomeric to carvacrol, mostly found in thyme oil and as a white crystalline substance with a pleasant aromatic odor and strong antiseptic properties.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1089824

**Table 2.** Constituents of the essential oils from *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*

No	RT	RI	NAME	<i>F. asepala</i>	<i>F. schleicheri</i> subsp. <i>microcarpa</i>
1.	12.22	965	Hydroperoxide, 1-ethylbutyl	0.86	0.66
2.	18.14	1098	Linalool,	0.60	0.25
3.	12.69	1213	$\alpha$ - terpineol	0.83	0.59
<b>4.</b>	<b>12.87</b>	<b>1295</b>	<b>Thymol</b>	<b>20.42</b>	4.78
5.	33.52	1320	E- $\beta$ -Damascenone	0.57	-
6.	33.80	1324	10,12-Docasadyndioic acid	0.26	-
7.	38.00	1390	trans- $\beta$ -Ionone	0.65	0.20
8.	41.09	1411	Dodecylamine	-	0.23
9.	43.08	1420	Dodecanoic acid	-	0.48
10.	45.53	1428	14- $\beta$ -H-Pregna	0.25	0.36
11.	46.48	1501	2-Pentadecanone	0.33	0.54
12.	46.98	1629	14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol	1.40	-
13.	47.09	1630	Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	-	0.46
14.	48.03	1643	Phytol acetate	-	0.16
<b>15.</b>	<b>49.06</b>	<b>1760</b>	<b>Benzyl Benzoate</b>	<b>15.89</b>	<b>29.07</b>
16.	50.53	1804	2-Ethylhexyl salicylate	0.24	1.56
17.	50.98	1820	1-Hentatracontanol	-	0.63
18.	51.16	1824	Isopropyl myristate	0.34	0.45
19.	51.62	1830	Neophytadiene	0.42	-
<b>20.</b>	<b>51.84</b>	<b>1833</b>	<b>Hexahydrofarnesyl acetone</b>	<b>12.92</b>	<b>19.72</b>
21.	52.98	1844	Phthalic acid	-	0.22
22.	53.39	1854	Homosalate	0.42	0.62
23.	53.76	1858	Heptadecanenitrile	0.78	-
24.	54.10	1905	Malonic acid, 2-butyl decyl ester	0.41	-
25.	54.43	1909	Farnesyl Acetone B	1.95	-
26.	54.63	1912	Hexadecanoic acid, methyl ester	0.29	-
27.	55.19	1920	Tetrapentacontane	0.64	-
28.	55.41	1925	Isopyhtol	-	2.62
29.	55.56	1929	Hexacosane	0.35	-
<b>30.</b>	<b>55.87</b>	<b>1938</b>	<b>n-Hexadecanoic acid</b>	<b>0.69</b>	<b>11.40</b>
31.	57.05	1943	1-Decanol, 2-hexyl-	0.29	-
32.	59.75	2000	Oleanitrile	0.50	-
33.	60.18	2060	9-Octadecen-1-ol, (Z)-	1.42	0.28
34.	60.32	2100	Pentacosane	1.69	2.78
35.	60.49	2105	$\gamma$ -Palmitolactone	2.57	0.25
36.	60.63	2120	Palmitaldehyde, diallyl acetal	-	0.23
37.	60.75	2132	2-Nonadecanol	0.19	-
<b>38.</b>	<b>60.91</b>	<b>2145</b>	<b>Phytol</b>	<b>20.74</b>	<b>10.04</b>
39.	61.43	2150	Kinome	-	2.47
40.	61.67	2154	(3E,5E,7E)-6-Methyl-8-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexenyl)	1.45	-
<b>Total</b>				<b>90.36</b>	<b>91.05</b>

**Table 3.** Antimicrobial effect of *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*

Microorganism	<i>Fumaria asepala</i> (mm)	<i>Fumaria schleicheri</i> subsp. <i>microcarpa</i> (mm)	Standart (mm)	Control
<i>E. coli</i>	19	20	30 **	
<i>S. aureus</i>	24	21	20 **	
<i>K. pneumoniae</i>	24	25	19 **	
<i>B. megaterium</i>	16	19	25 **	
<i>P. aeruginosa</i>	19	20	25 **	
<i>C. albicans</i>	15	18	20 *	

\*\*Streptomycin sulfate (10 mg/disc) and \*Nystatin (30 mg/disc) were used as standard antibiotic discs. The diameter of the paper discs was 6 mm.

**Table 4.** TAS and TOS values of aerial parts of *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* and *F. asepala*

	TAS (mmol Trolox equiv./L)	TOS (μmol H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> equiv./L)
<i>F. asepala</i> -MetOH	3.1610	12.7724
<i>F. schleicheri</i> subsp. <i>microcarpa</i> -MetOH	2.8314	11.4030

Benzyl Benzoate (29.07%), which is a major element in *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*, is an organic compound that is mostly used as a raw material for the treatment of skin diseases and is also known to have an insect repellent effect (Knowles, 1991; Stuart et al., 2009). Another major component, Hexahydrofarnesyl acetone (also known as phytone) (19.72%), is a sesquiterpene (Avoseh et al., 2021; Wei et al., 2016) with antibacterial, anti-nociceptive and anti-inflammatory activities.

When we look at the literature, Ashnagar et al. (2007) investigated the essential oil content of *F. parviflora* Lam., collected from the south of Iran. As a result of the study, the major components in the essential oil were found to be hexadecanoic acid 23.2%, Octadecane 13.2% Farnesyl acetate 8%,  $\alpha$ -Cadinol 7.7%. According to the results of our study, hexadecanoic acid was found to be 0.69% in *F. asepala* and 11.40% in *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*. In our study, thymol compound, which was found as 20.42% in *F. asepala* and 4.78% in *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*, was determined as 0.7% according to Ashnagar et al (2007). It is thought that this difference is due to the difference of the place and time of collection and the plant species. Păltinean et al. (2017) also investigated the chemical composition of some *Fumaria* species (*F. jankae*

Hauskn., *F. vailantii* Loisel., *F. schleicheri* Soy.-Will., *F. officinalis* L., *F. rostellata* Knaf, *F. capreolata* L.). According to the results they obtained, it was revealed that *Fumaria* species contain phenolic acids and high amounts of flavonoids. Rutin and isoquercitrin were found as the main compounds in the studied species. Vrancheva et al. (2014) analyzed the primary metabolites of 5 different *Fumaria* species grown in Bulgaria and identified ten carbohydrates, one polyol, ten amino acids, and six organic acids in polar fractions. They stated that these data could be useful in the chemotaxonomic classification of *Fumaria* species. Adhama et al. (2021) revealed that *F. officinalis* has a strong cytotoxic effect against some cell lines. Sofiane and Seridi (2021) looked at the chemical content of *Fumaria capreolata* L. grown in Algeria, and as a result of the phytochemical screening carried out on the above-ground part of the plant, the richness of this plant in terms of secondary metabolites such as alkaloids, catechic tannins, sterols, and terpenes was revealed.

It was determined that methanol extracts of *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* had an antioxidant effect at a concentration of 1 mg/ml (Table 4). In previous studies, it was determined that *Fumaria* species contain high amounts of phenolic



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1089824

acids and flavonoids (Păltinean et al., 2017). It has been reported that the DPPH radical scavenging effect of different fractions of *F. officinalis* has an IC50 value of 15.74-41.72 µg/mL and total antioxidant levels of 2.40-14.23 mg EAA/g DM (Khamtache-Abderrahim et al., 2016). It was determined that the percent inhibition of the DPPH radical scavenging effect of the ethyl acetate extract of *F. vaillantii* was 83.41% (Ivan et al., 2014). The antioxidant effect of methanol extracts of the aerial parts of *F. officinalis* was reported as 78.93% (Sengül et al., 2009). The IC50 value of the DPPH radical scavenging effect of *F. indica* was calculated as 62.91 µg/ml (Landry et al. 2021). The antioxidant effects of alkaloid extracts of *F. bastardii* and *F. capreolata* were found to be 86% and 45.6% (Maiza et al., 2007). It has been reported that the antioxidant effect of the ethanol extract of *Fumaria capreolata* is 72.35% (Orhan et al., 2012). From the studies, it is thought that *Fumaria* species have antioxidant effects (Sengul et al., 2009; Ivan et al., 2014; Khamtache-Abderrahim et al., 2016; Landry et al., 2021) and this is due to their phenolic acids, flavonoids, and alkaloids (Maiza et al., 2007; Orhan et al., 2007; Păltinean et al., 2017).

When we look at the chemical content of *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa*, it is seen that they have very valuable components. Many of these components have strong antioxidant and antimicrobial effects in the literature. In this study, the efficacy of the methanolic extract of the plant against various pathogenic microorganisms was also tested. According to the test results obtained, it has been observed that it has an antimicrobial effect at certain rates against all tested microorganisms. It is thought that its strong antimicrobial effect is due to these valuable chemical components.

It was determined that methanol extracts of *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* had antimicrobial effects at different rates (15-25 mm) against the microorganisms used (Table 3). In previous studies, it has been reported that different fractions of *F. officinalis* have antimicrobial effects against *Propionibacterium acnes*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Corynebacterium xerosis* (Khamtache-Abderrahim et al., 2016). It has been determined that *F. vaillantii* forms an inhibition zone in the range of 8-28 mm against *A. flavus* at different concentrations (Moghtader, 2013). Methanol extracts of the aerial parts of *F. officinalis* formed a 10mm and 15mm inhibition zone against *P. aeruginosa* and *S.*

*aureus*, respectively (Sengul et al., 2009). It has been determined that alkaloid extracts of *Fumaria bastardii* and *Fumaria capreolata* have antimicrobial effects against *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, and *E. coli* (Maiza and Bribe, 2012). Fuyuziphine alkaloid obtained from *F. indica* was used against the development of some fungi that cause diseases in plants and very effective results were obtained (Pandey et al., 2007). It has been reported that *F. vaillantii* and *F. vulgaris* have antimicrobial effects at different rates (8.5-19.5mm) against *S. aureus*, *B. cereus*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. flexneri*, *E. aerogenes*, *P. aeruginosa*, *S. marcescens*, *P. vulgaris* at a concentration of 480 mg/ml (Jaberian et al., 2013). When the results obtained are compared with previous studies, it is seen that the results show differences (Sengul et al., 2009; Maiza and Bribe, 2012; Moghtader, 2013; Jaberian et al., 2013; Khamtache-Abderrahim et al., 2016). The biochemical contents of *Fumaria* species, the solvents used and the differences in microorganisms affect the antimicrobial results (Kirbag et al., 2013). Stanojević et al (2018) investigated the antioxidant and antimicrobial activity of the aqueous extract of *F. officinalis* in 2018. In their study using 7 different microorganisms, they stated that the plant extract showed the strongest antimicrobial effect, especially against *C. albicans*, and also had high antioxidant activity when they measured the effectiveness using the DPPH method (Stanojević et al., 2018; Karaaslan et al., 2018).

## CONCLUSION

In conclusion, as a result of a detailed literature review, it is understood that the genus *Fumaria* is a plant group with high medicinal properties. It is seen that there are quite a lot of studies in the literature using the genus *Fumaria*, and these mostly include antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, hepatoprotective, antihelminthic, analgesic, essential oil, and cytotoxic studies. However, it is seen that there is no study using *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* species that we used in our study.

In this study, essential oil components, antimicrobial effects, and antioxidant activities of *F. asepala* and *F. schleicheri* subsp. *microcarpa* were studied for the first time by us and very valuable findings were obtained and brought to the literature.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1089824

## ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thanks, Prof. Dr. Semsettin Civelek, Prof. Dr. Sevda Kirbag and Asst. Prof. Azize Demirpolat for their contribution.

## CONFLICT OF INTEREST

The Author reports 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

- Adhama, A., Abedb, R. and Ritsemab, C. (2021). A Reliability Analysis of Rainwater Catchment System. *Water Resources*, 48(3), 361–367.
- Ashnagar, A., Gharib Naseri, N. and Yaghobi, M. (2007). Chemical composition of the essential oil of fumitory plant (*Fumaria parviflora* Lam.) (Fineleaf fumitory) grown in Ahwaz, Iran. *Asian Journal of Chemistry*, 19(7), 5336-5340.
- Avoseh, O. N., Mtunzi, F. M., Ogunwande, I. A., Ascrizzi, R. and Guido, F. (2021). *Albizia lebbek* and *Albizia zygia* volatile oils exhibit anti-nociceptive and anti-inflammatory properties in pain models. *Journal of Ethnopharmacology*, 268, 113676.
- Bayaz, M. (2014). Esansiyel Yağlar: Antimikrobiyal, Antioksidan ve Antimutajenik Aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 12, 45-53.
- Baydar, H. (2005). Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Isparta, 113–115.
- Bribi, N., Algieri, F., Rodriguez-Nogales, A., Vezza, T., Garrido-Mesa, J., Utrilla, M. U., Contreras, M., Maiza, F., Segura-Carretero, A., Rodriguez-Cabezas, M. E. and Galvez, J. (2016). Intestinal anti-inflammatory effects of total alkaloid extract from *Fumaria capreolata* in the DNBS model of mice colitis and intestinal epithelial CMT93 cells. *Phytomedicine*, 23: 901–913.
- Coban, T., Citoğlu, G., Sever, B. and İscan, M. (2003). Antioxidant activities of plants used in traditional medicine in Turkey. *Pharmaceutical biology*, 41(8), 608-613.
- Collins, C. M. and Lyne, P. M. (2004). *Microbiological methods*. Oxford University Press Inc, London, 140.
- Craker, L. E., Gardner and Z., Etter, S. C. (2003). Herbs in American fields: A horticultural perspective of herband medical plant production in the United Sates. *Horticultural science*, 38: 977–983.
- Daines, A., Payne, R., Humphries, M. and Abell, A. (2003). The synthesis of naturally occurring vitamin K and vitamin K analogues. *Current organic chemistry*, 7(16), 1625-1634.
- Demirpolat, A., Bagci, E. and Doğan, G. (2017). Essential Oil Composition of *Scandix iberica* Bieb. and *Scandix stellata* Banks and Sol. (Apiaceae) from Different Parts, a Chemotaxonomic Approach. *Global journal of botanical science*, 5(2), 55-62.
- Erecevit Sönmez, P. and Çakılıoğlu, U. (2021). Türkiye’de Yetişen *Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei*’ nin Antibakteriyel ve Antifungal Özelliği. *Int. J. Pure Appl. Sci.*, 7(3), 517-525.
- Goncalves, S. and Romano, A. (2016). The medicinal potential of plants from genus *Plantago* (Plantaginaceae). *Industrial Crops and Products*, 83(1), 213-226.
- Inci, S., Eren, A. and Kirbag S. (2021). Determination of antimicrobial and antioxidant activity of *Alchemilla alpina* L. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 9(12), 2260-2264.
- Jaberian, H., Piri, K. and Nazari J. (2013). Phytochemical composition and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of some medicinal plants. *Food chemistry*, 136(1), 237-244.
- Kan, Y. (2005). Production and consumption potential of medicinal and aromatic plants in Turkey. *Pharmacognosy and Phytotherapy Symposium; İstanbul, Proceedings Book*, 56–61.
- Karaaslan, N. M., Karaaslan, M. G. and Ates, B. (2018). Effects of Some Extraction Solvents on the Antioxidant Properties of Strawberry Fruit. *Int. J. Pure and Appl. Sci.*, 4 (2), 102-109.
- Khamtache-Abderrahim, S., Lequart-Pillon, M., Gontier, E., Gaillard, I., Pilard, S., Mathiron, D. and Maiza-Benabdesselam, F. (2016). Isoquinoline alkaloid fractions of *Fumaria officinalis*: Characterization and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities. *Industrial Crops and Products*, 94, 1001-1008.
- Kirbag, S., Erecevit, P., Zengin, F. and Guvenc, A. N. (2013). Antimicrobial activities of some *Euphorbia* species. *Afr J Tradit Complement Altern Med.*, 10(5), 305-309.
- Knowles, C.O. (1991). 22.4.2 Benzyl Benzoate. In Hayes, Wayland J.; Laws, Edward R. (eds.). *Handbook of Pesticide Toxicology, Classes of Pesticides*. Academic Press, 3, 1505–1508.
- Landry, B. K., Tariq, S., Malik, A., Sufyan, M., Ashfaq, U. A., Ijaz, B. and Shahid, A.A. (2021). *Berberis lyceum* and *Fumaria indica*: in vitro cytotoxicity, antioxidant activity, and in silico screening of their selected phytochemicals as novel hepatitis C virus nonstructural protein 5A inhibitors. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 25: 1-25.
- Maiza, B. F., Khentache, S., Bougoffa, K., Chibane, M., Adach, S., Chapeleur, Y., Max, H. and Laurain-Mattar, D. (2007). Antioxidant activities of alkaloid

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1089824

- extracts of tow Algerian species of *Fumaria*: *Fumaria capreolata* and *Fumaria bastardii*. Records of Natural Products, 1: 28-35.
- Maiza, B. F. and Bribi, N. (2012). Antibacterial activity against multi resistant bacteria strains of alkaloid extracts of two Algerian *Fumaria* species. Microbes In Applied Research, 464-468.
- Moghtader, M. (2013). In vitro antifungal effects of *Fumaria vaillantii* Loisel. essential oil on *Aspergillus flavus*. Journal of Yeast and Fungal Research, 4: 21–25.
- Netscher, T. (2007). Synthesis of Vitamin E, Vitamins & Hormones, Academic Press, 76: 155-202.
- Orhan, I., Özçelik, B., Karaoğlu, T. and Şener, B. (2007). Antiviral and antimicrobial profiles of selected isoquinoline alkaloids from *Fumaria* and *Corydalis* species. Zeitschrift für Naturforschung C, 62(1-2), 19-26.
- Orhan, I. E., Sener, B. and Musharraf, S. G. (2012). Antioxidant and hepatoprotective activity appraisal of four selected *Fumaria* species and their total phenol and flavonoid quantities. Experimental and Toxicologic Pathology, 64, 205–209.
- Păltinean, R., Wauters, J. N., Tits, M., Frédérick, M., Angenot, L., Tămas and M., Crisan, G. (2013). Comparative morphological studies on some species of the genus *Fumaria*. Farmacia, 61: 371–377.
- Păltinean, R., Crisan, G., Balica, G., Ielciu, I., Ștefănescu, C. and Tămas, M. (2015). Histo-anatomical researches on the vegetative organs of five Romanian *Fumaria* species. Farmacia, 63: 262–266.
- Păltinean, R., Mocan, A., Vlase, L., Gheldiu, A. M., Crișan, G., Ielciu, I., Voștinaru, O. and Crișan, O. (2017). Evaluation of Polyphenolic Content, Antioxidant and Diuretic Activities of Six *Fumaria* Species. Molecules, 22(4), 639.
- Pandey, M. B., Singh, A.K., Singh, A. K. and Singh, U.P. (2007). Inhibitive Effect of Fuyuziphine isolated from Plant (Pittapapra) (*Fumaria indica*) on Spore Germination of Some Fungi. Mycobiology, 35(3), 157-158.
- Pérez-Gutiérrez, M. A., Romero-García, A. T., Salinas, M. J., Blanca, G., Fernández, C. and Suárez-Santiago, V.N. (2012). Phylogeny of the tribe Fumarieae (Papaveraceae s.l.) based on chloroplast and nuclear DNA sequences: Evolutionary and biogeographic implications. American Journal of Botany, 99: 517–528.
- Sengul, M., Yildiz, H., Gungor, N., Cetin, B., Eser, Z. and Ercisli S. (2009). Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of some medicinal plants. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 22(1), 102-106.
- Sofiane, I. and Seridi, R. (2021). Phytochemical profile, total phenolic content and antioxidant activity of ethanolic extract of fumitory (*Fumaria capreolata* L.) from Algeria. European Journal of Biological Research, 11(4), 404-416.
- Sousek, J. and Guedon, D. (1999). Alkaloids and organic acids content of Eight *Fumaria* species. Phytochem Anal, 10, 6-11.
- Stanojević, L., Zvezdanović, J., Danilović, B., Cvetković, D., Stanojević, J., Ilić, D. and Cakić, M. (2018). The antioxidative and antimicrobial activity of the aqueous earth smoke (*Fumaria officinalis* L.) extract. Advanced Technologies, 7(2), 31-40.
- Stuart M. C., Kouimtzi M and Hill SR (eds.). (2009). World Health Organization, WHO Model Formulary p. 311. hdl:10665/44053. ISBN 9789241547659.
- Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. O., Edmonson, J. R., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M. and Webb, D. A. (2010). Psilotaceae to Platanaceae In Flora Europaea. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2(1), 306–311.
- Vrancheva, R., Ivanov, I., Marchev, A. and Pavlov, A. (2012). Qualitative and quantitative determination of protopine in *Fumaria* sp. by TLC-densitometry method. Journal of BioScience and Biotechnology, 1, 255–259.
- Vrancheva, R. Z., Ivanov, I. G., Aneva, I. Y., Dincheva, I. N., Badjakov, I. K. and Pavlov, A. I. (2014). GC-MS based metabolite profiling of five Bulgarian *Fumaria* species. Journal of BioScience & Biotechnology, 3(3), 195-201.
- Wei, G., Kong, L., Zhang, J., Ma, C., Wu, X., Li, X. and Jiang, H. (2016). Essential oil composition and antibacterial activity of *Lindera nacusua* (D. Don) Merr. Natural Product Research, 30(23), 2704-2706.

## Limón Kabuğu Tozundan Farklı Asit Türleri Kullanılarak Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ile Pektin Üretiminin İncelenmesi

Mutlu Çevik<sup>1\*</sup>, Serdal Sabancı<sup>2</sup>, Ali Göksu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>3</sup>Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli, Türkiye

\* mutlucevik3538@hotmail.com<sup>ID</sup>, serdalsabanci@hotmail.com<sup>ID</sup>, agoksu@munzur.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi:21.08.2022, Makale kabul tarihi:23.11.2022

### Öz

Gelişen teknolojik durumlara bağlı olarak, insanların alternatif ısıtma yöntemleri kullanma eğilimleri artmaktadır. Mevcut çalışmada, limon kabuğu tozundan, 3 farklı asit türü (sülfirik, hidroklorik ve nitrik asit) kullanılarak ayarlanmış sabit pH 1.5 değerinde, sabit katı:sıvı oranında (1:40) ve 10 V/cm voltaj gradyanında 20 °C den 80 °C ye kadar ısıtılması ve 80 °C ekstraksiyon sıcaklığında 10 dakikalık işlem süresi sonunda elektriksel iletkenlik değerinin değişimini ve asit türünün pektin verimi üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, örneklerin ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminde ısınma sürelerinin 199 ile 252 s arasında değiştiği, elektriksel iletkenlik değerinin ise 0.89 ile 2.10 S/m arasında değiştiği belirlenmiştir. Ek olarak, sıcaklık değeri arttıkça 3 farklı asit türü içinde elektriksel iletkenlik değerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak 3 farklı asit türü için % pektin verimi değerlerinin %8.88 ile %10.72 arasında değiştiği ve en yüksek pektin veriminin sülfirik asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir. Farklı asit türü kullanımının ısınma süresi, elektriksel iletkenlik ve pektin verimi üzerine anlamlı bir etkiye sahip olduğu (p<0.05), ancak ısınma enerjisi ve toplam harcanan enerji değerleri üzerine ise anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Elde edilen bulgular sonucunda ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sistemi kullanılarak pektin ekstraksiyon işleminin başarılı bir şekilde yapılabileceği tespit edilmiştir. Güncel ısıtma yöntemlerinin bu tarz ürünlerin ekstraksiyonunda kullanılmasının literatüre ciddi katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekstraksiyon, elektriksel iletkenlik, hidroklorik asit, nitrik asit, sülfirik asit

## Investigation of Pectin Production by Ohmic Heating Assisted Extraction Method Using Different Types of Acids from Lemon Peel Powder

### Abstract

Depending on the developing technology, people's use of alternative heating methods is increasing. In the present study, a solution of lemon peel powder prepared with 3 different acids (sulphuric, hydrochloric, and nitric acid) was heated from 20 °C to 80 °C at a constant pH of 1.5, solid: liquid ratio (1:40), and a voltage gradient of 10 V/cm. It is aimed to investigate the change of electrical conductivity value and the effect of acid type on pectin yield at the end of 10 minutes of processing time at 80 °C extraction temperature. As a result of the experiments, the heating times of the samples in the ohmic heating-assisted extraction system varied between 199 and 252 s, and the electrical conductivity values varied between 0.89 and 2.10 S/m. In addition, the electrical conductivity value increased in 3 different acid types as the temperature value increased. Also, pectin yield values for 3 different acid types varied between 8.88% and 10.72%, and the highest pectin yield was obtained in the extraction process obtained from the solution prepared with sulfuric acid. It was determined that the use of different acid types had a significant effect on the heating time, electrical conductivity, and pectin yield (p<0.05) but did not have a significant effect on the heating energy and total consumed energy (p>0.05). According to the results, it has been determined that pectin extraction can be done successfully using the ohmic heating-assisted extraction system. It is expected that the data obtained from the use of current heating methods in the extraction of such products will make a serious contribution to the literature.

**Keywords:** Extraction, electrical conductivity, hydrochloric acid, nitric acid, sulphuric acid



## GİRİŞ

Dünya limon üretimi 2020 yılında 1188517 tonu Türkiye'de olmak üzere 21353502 ton olarak gerçekleşmiş ve bu değer ile Türkiye dünyada en çok limon üreten ülkeler sıralamasında altıncı sırada yer almıştır (FAO, 2020). Ayırma işlemlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden birisi ekstraksiyon işlemidir. Bir veya daha fazla değerli maddenin katı ve/veya sıvı haldeki bir çözücü ile uzaklaştırılması olayı olarak da kısaca açıklanabilir (Geankoplis, 2003). Pektin; yeşil olmayan bitkilerin ve meyvelerin hücre duvarlarında bulunan galakturonik asit moleküllerinin birbirlerine düz zincir halinde birleşmesi ile oluşan kompleks polisakkarit yapıdaki bir maddedir. Ticari olarak pektin; elma ve turuncgil kabuklarının posasından ekstraksiyon yöntemi ile elde edilmekte ve suda çözünebilir bir forma sahiptir (Tektaş Taşan ve Akpınar, 2020). Pektinler jel oluşturabilme özelliğinden dolayı reçel ve jöle yapımında, kıvam arttırıcı özelliğinden dolayı salça ve krem peyniri gibi gıdalarda katkı maddesi olarak ve meyve tadını arttırıcı etkisinden dolayı da meyveli yoğurtlarda tercih edilmektedir (De Vries ve ark., 1986). Geleneksel olarak asidik ortamda hedef ekstraksiyon sıcaklığına getirilen pektin içeren kabuklar daha sonra bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilerek ekstraksiyon işlemi tamamlanmaktadır. Geleneksel ekstraksiyon işlemlerinde, yüksek ısı işlem ve ekstraksiyon süresinin uzun olması ile kalite kayıpları meydana gelmektedir. Ek olarak, geleneksel ekstraksiyon işlemlerinin atık su oluşumu, kalite kayıpları ve düşük enerji verimliliği gibi dezavantajlara sahip olması nedeniyle, literatürde alternatif yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon çalışmalarının giderek arttığı gözlemlenmektedir (Bélafi-Bakó ve ark., 2011; Çilingir ve ark., 2021; Gavahian ve ark., 2021; Tektaş Taşan ve Akpınar, 2020). Bu alternatif yöntemler arasında ultrases, vurgulu elektrik alan ve hidrostatik basınç gibi ısı olmayan tekniklerin yanı sıra mikrodalga ve ohmik ısıtma gibi alternatif elektriksel ısıtma yöntemleri de yer almaktadır (Gavahian ve ark., 2021; Sarah ve ark., 2018; Yang ve ark., 2019). Mevcut çalışmada ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak limon kabuğu tozundan pektin üretiminin yapılması planlanmıştır.

Ohmik ısıtma işlemi ayrıca literatürde joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma veya doğrudan elektriksel direnç ısıtma gibi isimlerle adlandırılmaktadır. Ohmik ısıtma işlemi; iki elektrot

arasında bulunan gıda maddesinden alternatif akım geçirilerek ürün içerisinde ısı jenerasyonunun meydana gelmesine ve bunun sonucunda da ürünün ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Ayrıca ohmik ısıtma işlemi hızlı, homojen ve verimli ısıtma olarak da bilinmektedir (İcier, 2012). Ohmik ısıtma işlemi gıda maddelerinin ısıtılması, pastörizasyonu, sterilizasyonu, ekstraksiyonu, haşlaması, evaporasyonu ve pişirilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Arıç Sürme ve Sabancı, 2021; Baysal ve ark., 2011; Cevik ve İcier, 2021; Göksu ve ark., 2022; İcier ve ark., 2017a;2017b; Sabancı, 2020). Yazarların bilgisi dahilinde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile pektin eldesi konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, güncel elektriksel ısıtma tekniklerinden olan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile farklı asit türleri kullanılarak pektin üretiminin yapılması planlanmıştır.

Bu çalışmada, limon kabuğu tozundan 3 farklı asit çözeltisi (sülfirik, hidroklorik ve nitrik asit) içerisinde sabit pH, voltaj gradyanı, ve katı:sıvı oranında 80 °C sabit ekstraksiyon sıcaklığında 10 dakika ekstraksiyon işleminin gerçekleştirilmesi ve farklı asit türünün pektin verimi ve elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

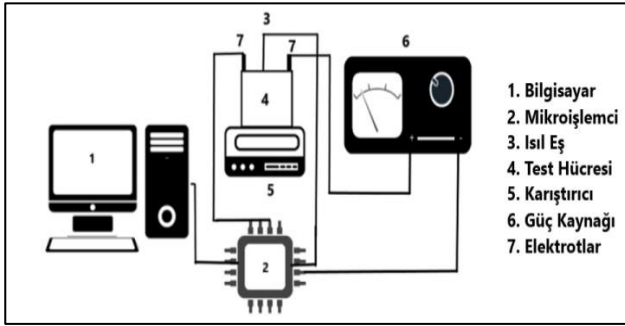
### Materyal

Ohmik ısıtma ile ekstraksiyon işleminde pektin üretmek için limon kabuğu tozları kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan limonlar yerel bir manavdan temin edilmiştir ve bir dize işleme tabi tutulmuştur. Bunlar sırasıyla yıkama, kurulama, ayıklama, soyma ve dilimleme işlemleridir. Daha sonra elde edilen limon kabukları 55 °C'de tepsili kurutucuda (TK 10 Lab Model, Eksis Makine, Türkiye) 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulan örnekler çekiçli değirmen (Armfield, İngiltere) yardımıyla toz haline getirilmiş ve 500 mikron elekten geçirilerek limon kabuğu tozu elde edilmiştir. Limon tozu örnekleri 30 g'lık vakumlanabilir poşetler içerisinde vakum makinesi (Lipovak, MV-20/30 Türkiye) yardımı ile vakumlanmıştır. Vakumlanan poşetli örneklerin ışıktan muhafaza edilmesi amacıyla da alüminyum kaplı polietilen folyolar ile kaplanmış ve ekstraksiyon işleminde kullanılmaya kadar serin bir ortamda depolama işlemine tabii tutulmuştur.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1165072

### Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon Yöntemi

Ekstraksiyon işleminde kullanılan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Ohmik ısıtma sistemi bilgisayar, test hücresi, elektrotlar, güç kaynağı, özel yapım mikroişlemci ve T-tipi ısı eşlerinden (Cole Parmer, İngiltere) oluşmaktadır. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminde 0-360 V çalışma aralığına sahip hassas ayarlanabilir bir varyak sistemi kullanılmıştır. Kullanılan test hücresinin boyutları 70×70×60 mm olup polioksümetilen (POM) malzemeden yapılmış ve 60×1×150 mm boyutlarında titanyum elektrotlar kullanılmıştır. Ekstraksiyon işlemi sırasında sıcaklık, voltaj ve akım değerlerini aynı anda kaydetmek için özel olarak tasarlanmış bir mikroişlemci kullanılmıştır.



Şekil 1. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminin şematik gösterimi

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi, sabit voltaj gradyanında (10 V/cm), sabit ekstraksiyon sıcaklığı (80°C) ve pH'ı 1.5 değerine sülfirik (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), hidroklorik (HCl) ve nitrik asit (NH<sub>3</sub>) ile ayarlanmış 120 ml'lik çözelti içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işleminde, limon kabuğu tozu örnekleri sabit katı:sıvı oranında (1:40 g/ml) ve sabit bekleme süresinde (10 dakika) ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi boyunca temaslı sıcaklık geçmişi izole edilmiş T tipi (Cole Parmer, İngiltere) ısı eşler kullanılarak alınmış ve özel tasarım bir mikroişlemci yardımıyla veriler kaydedilmiştir. 80 °C ekstraksiyon sıcaklığına kadar ısıtılan örnek daha sonra aç-kapa yapılarak sabit sıcaklık (80°C) değerinde tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi sırasında örnekler içerisinde topaklanmayı önlemek amacıyla manyetik karıştırıcı yardımıyla 100 rpm'de karıştırma işlemi uygulanmıştır.

### Pektin Ekstraksiyonu

Pektin elde etmek amacıyla limon kabuğu tozu örnekleri ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemine maruz bırakılmıştır. Ekstraksiyon işlemi sabit voltaj gradyanında (10 V/cm), sabit ekstraksiyon sıcaklığı (80°C) ve pH'ı 1.5 değerine sülfirik (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), hidroklorik (HCl) ve nitrik asit (NH<sub>3</sub>) ile ayarlanmış 120 ml'lik çözelti içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonunda erlene alınan numuneler, ilk önce buzdolabında (+4°C ortam koşullarında) soğutulmuştur. Daha sonra 6000 rpm de çalışan soğutmalı santrifüj (Centurion Scientific, K241R, İngiltere) ile 15 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Elde edilen sıvı kısım, 500 ml erlenlere alınmış ve üzerine 120 ml %96 (v/v) etanol eklenerek +4°C'de 2.5 saat bekletilmiştir. Daha sonra çöktürülmüş pektin çözeltilerinde kalan kirliliklerin uzaklaştırılması için 1 kez %70 etanol %0.5 HCl çözeltisi ile yıkanmış ve sonra 60 ml %96 etanol çözeltisi ile de iki kez daha yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra elde edilen nemli pektinler 50°C'de kurutma ortamında etüv (Nüve, Türkiye) içerisine konularak sabit tartım ağırlığına gelinceye kadar en az 24 saat kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında kalan ürünün ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen pektinlerin kütlesi mg cinsinden tespit edilmiş ve pektin verimi Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Pektin\ verimi\ (\%) = \frac{Pektin\ ağırlığı}{Örnek\ ağırlığı} \times 100 \quad (1)$$

### Efektif Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile pektin üretimi sırasında elektriksel iletkenlik (Eİ) değerlerindeki değişim Eşitlik 2 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$Elektriksel\ iletkenlik\ \left(\frac{S}{m}\right) = \frac{I}{V} \times \frac{L}{A} \quad (2)$$

Burada I, V, L ve A değerleri sırasıyla akım (A), voltaj (V), iki elektrot arasındaki mesafeyi (m) ve elektrot temas yüzey alanını (m<sup>2</sup>) temsil etmektedir.

## Isınma ve Toplam Harcanan Enerji Değerlerinin Belirlenmesi

Farklı işlem koşullarında uygulanan ekstraksiyon işlemi boyunca gerekli olan ısınma enerjisi (Eşitlik 3) ve ekstraksiyon işlemi boyunca harcanan toplam enerji (Eşitlik 4) miktarı özel tasarım kapalı çevrim mikroişlemci yardımıyla tespit edilmiştir. Isınma ve toplam harcanan enerji miktarı; voltaj (V, volt) ve akım (I, amper) değerleri kullanılarak Eşitlik 3 ve 4 yardımı ile Joule cinsinden belirlenmiştir.

$$\text{Isınma Enerjisi (J)} = \Sigma VIt_{\text{ısınma}} \quad (3)$$

$$\text{Toplam Harcanan Enerji (J)} = \Sigma VIt_{\text{ısınma+ekstraksiyon}} \quad (4)$$

Burada, V voltaj (volt) ve I akım (amper),  $t_{\text{ısınma}}$  ısınma için geçen süreyi (s),  $t_{\text{ısınma+ekstraksiyon}}$  ise ısınma ve ekstraksiyon için geçen toplam süreyi (s) ifade etmektedir.

## İstatistiksel Değerlendirme

Sonuçların istatistiksel değerlendirmesi SPSS 23 (IBM, 2015, USA) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı üretim koşullarının etkisi tek yönlü varyans analizi kullanılarak Duncan testi ile belirlenmiştir. Güven düzeyi %95 olarak alınmış ve her bir analiz en az 3 tekerrür halinde yapılmıştır.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

### Isınma Süresi ve Sıcaklık Değerlerindeki Değişim

Limon kabuğu tozundan 3 farklı asit çözeltisi (sülfürik, hidroklorik ve nitrik asit) ortamındaki üretim koşulları dikkate alınarak pektin üretiminin 20 °C'den 80 °C'ye kadar ısınma süresi ve ortalama sıcaklık değişimleri Tablo 1'de verilmiştir. Hedef sıcaklığa ulaşması için gerekli olan ısınma süresi, sülfürik asit için 210±9.4 saniye olduğu, hidroklorik asit için 252±10.2 saniye olduğu ve nitrik asit için ise 199±8.6 saniye arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 1;  $p<0.05$ ). En uzun ısınma süresi 252 s ile HCl asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde, en kısa ısınma süresi ise 199 s ile HNO<sub>3</sub> asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir. Ekstraksiyon işleminde farklı asit türü kullanımının ısınma süresi üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 1;  $p<0.05$ ).

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak pektin ekstraksiyonu sırasında ısınma süresi ve 10 dakikalık işlem sonunda harcanan enerji değerleri de Tablo 1'de verilmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi için gerekli ısınma enerjisinin 38967-40097 J arasında değiştiği ve kullanılan farklı asit türünün ısınma için gerekli olan enerji değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 1;  $p>0.05$ ). Ek olarak, toplam harcanan enerji değerlerinin ise 58756-59428 J arasında değiştiği ve farklı asit türü kullanımının toplam harcanan enerji değerleri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 1;  $p>0.05$ ).

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi süresince sıcaklık dağılımları incelenmiş ve ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi boyunca farklı asit ortamındaki sıcaklık değerlerindeki değişim Şekil 2'de verilmiştir. Tüm bunlara ek olarak, ekstraksiyon işlemi boyunca farklı üretim şartlarına ait sıcaklık değerlerindeki değişiminin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Şekil 2 de görüleceği üzere, ekstraksiyon sıcaklıklarının 80±0.7 °C civarında olduğu ve kontrollü bir ekstraksiyon işlemi sağlandığı tespit edilmiştir.

Literatürde bulunan benzer çalışmalar incelendiğinde, Saberian ve ark., (2017) yapmış olduğu portakal suyu atığından pektin üretimi ekstraksiyon çalışmasında, 1:20 g/ml katı:sıvı oranı, pH:2 hidroklorik asit çözeltisi ve 7-15 V/cm voltaj gradyanı için yaklaşık 20°C'deki örneği 90°C'ye ısıtmışlar ve sabit ekstraksiyon sıcaklığında 5-30 dakika arasında bekletmişlerdir. İşlem sonucunda, 15 V/cm voltaj gradyanında örneğin 90°C sıcaklığa 72 s de ulaştığını rapor etmişlerdir. Ek olarak, araştırmacılar ekstraksiyon işlemi boyunca ekstraksiyon sıcaklığının yaklaşık olarak 89-91°C arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer olarak bu çalışmada da ekstraksiyon süresi boyunca çözelti sıcaklığının ±1°C aralığında değiştiği belirlenmiştir. Başka bir çalışmada ise, farklı narenciye kabuklarından (greyfurt, limon ve portakal) 80°C sabit ekstraksiyon sıcaklığında pektin eldesi sırasında ekstraksiyon süresi boyunca çözelti sıcaklığının ±1°C aralığında değiştiği bildirilmiştir (Sabancı ve ark., 2021). Güncel diğer bir çalışmada ise, limon kabuğu tozundan farklı sıcaklık (70-90°C) ve ekstraksiyon sürelerinde (0-30 dakika) pektin eldesi sırasında

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1165072

ekstraksiyon işlemi boyunca çözelti sıcaklığının  $\pm 1^\circ\text{C}$  aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Çilingir ve ark., 2021).

### Elektriksel İletkenlik (Eİ) Değerlerinin Değişimi

Elektriksel iletkenlik (Eİ) değeri ohmik ısıtma uygulamalarının en önemli parametrelerin başında gelmektedir ve pek çok araştırmacı farklı işlemlerde elektriksel iletkenlik değerindeki değişimleri detaylı bir şekilde incelemişlerdir (Cevik ve İcier, 2018; İcier, 2012; İcier ve ark., 2017). Ohmik ısıtma çalışmalarının geneli incelendiğinde sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin artış gösterdiği ve sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki olduğu farklı çalışmalarda da rapor edilmiştir (Cevik, 2021; İcier ve İlicali, 2005; Sabancı, 2021; Tunç ve Odabaş, 2021). Bu çalışmada, limon tozu ve asit çözeltisi içeren karışımların  $20^\circ\text{C}$ 'den  $80^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılması sırasında farklı asit içeren ekstraksiyon çözeltilerinin Eİ değerlerindeki değişim Şekil 3'te verilmiştir. Ekstraksiyon çözeltilerinin Eİ değerleri sülfürik asit çözeltisi için 1.24-1.61 S/m arasında, hidroklorik asit çözeltisi için 0.89-1.61 S/m arasında ve nitrik asit çözeltisi için ise 1.23-2.10 S/m arasında değiştiği belirlenmiştir. Kullanılan asit türüne bağlı olarak moleküler hareketlilik ve/veya iyonik hareketlilikte değişimler meydana gelmiş ve böylece Eİ değerleri arasında farklılıkların oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak ekstraksiyon işleminde çözeltinin ısınması sırasında farklı asit türü kullanımının elektriksel iletkenlik değerleri üzerine anlamlı bir farklılığa neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3;  $p < 0.05$ ).

### Pektin Verimi Değerlerinin Değişimi

Farklı asit türleri kullanılarak sabit voltaj gradyanı ( $10\text{ V/cm}$ ), sabit katı sıvı oranı ( $1:40\text{ g/ml}$ ) ve sabit pH ( $\text{pH } 1.5$ ) değerinde ohmik ısıtma işlemi kullanılarak  $80^\circ\text{C}$ 'de yapılan ekstraksiyon işleminde elde edilen pektin verimi değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu koşullarda elde edilen pektin verimi sülfürik asit çözeltisi için  $10.79 \pm 0.89$ , hidroklorik

asit çözeltisi için  $8.88 \pm 1.0$  ve nitrik asit çözeltisi için ise  $10.74 \pm 0.95$  olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Pektin verimi üzerine farklı asit türü kullanımının etkisi incelendiğinde, en yüksek % pektin verimi sülfürik asit ile elde edilirken, en düşük % pektin verimi ise HCl çözeltisi ile yapılan ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ancak pektin verimi üzerine nitrik asit çözeltisi ve sülfürik asit çözeltisi kullanımının istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir ( $p > 0.05$ ). Sengar ve ark. (2020) yapılan çalışmada, domates işleme atıklarından farklı ekstraksiyon teknikleri kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sonunda en yüksek pektin verimi değerlerini  $10.65$  ile  $60\text{ V}$ ,  $5\text{ dk}$  bekleme süresi ve  $81^\circ\text{C}$  ekstraksiyon sıcaklığını koşullarında elde etmişlerdir. Güncel başka bir çalışmada ise (Sabancı ve ark., 2021), limon kabuğu tozundan sabit ekstraksiyon sıcaklığı ( $80^\circ\text{C}$ ), sabit voltaj gradyanı ( $9\text{ V/cm}$ ), sabit katı:sıvı oranında ( $1:40\text{ g/ml}$ ), sülfürik asit ile ayarlanmış sabit pH ( $1.0$ ) değerinde ve farklı bekleme süreleri ( $0, 5, 15, 30, 60, 120$  ve  $180$  dakika) kullanılarak gerçekleştirdikleri ekstraksiyon işlemleri sonunda örneklerin pektin verimi değerlerinin  $8.45$  ile  $14.06$  arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada da sülfürik asit çözeltisi ile ekstrakte edilen örneklerin pektin verimi değerlerinin araştırmacıların rapor ettiği değerler ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

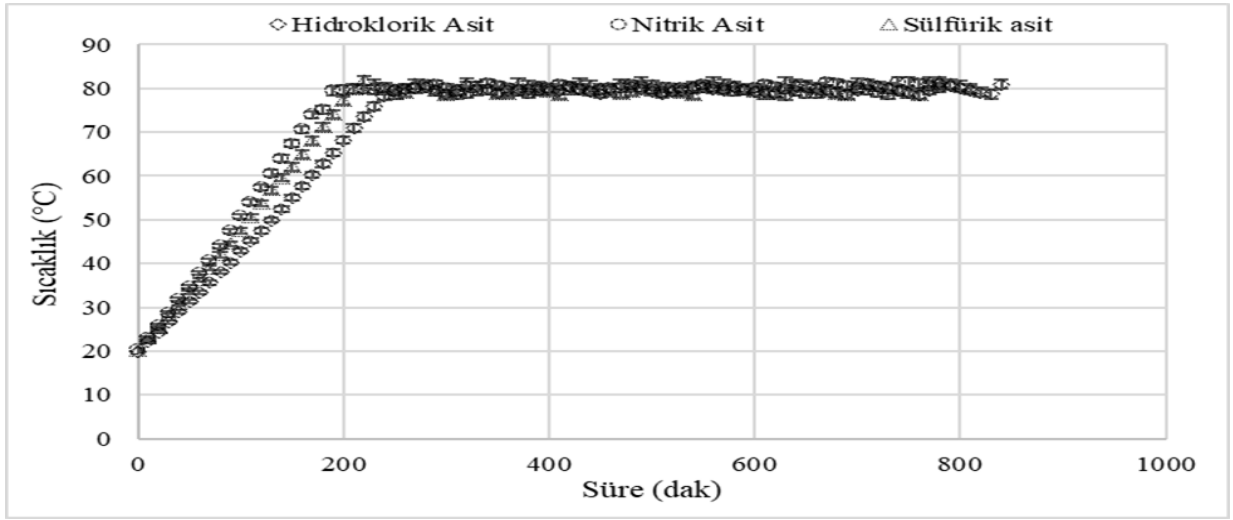
Diğer bir çalışmada ise (Saberian ve ark., 2017), portakal kabuğu tozundan hidroklorik asit ile ayarlanmış sabit pH ( $2.0$ ) değerinde, sabit katı:sıvı oranında ( $1:20\text{ g/ml}$ ), farklı ekstraksiyon sıcaklığı ( $50, 70$  ve  $90^\circ\text{C}$ ), farklı voltaj gradyanı ( $7, 11$  ve  $15\text{ V/cm}$ ), ve farklı bekleme süreleri ( $7, 17.5$  ve  $30$  dakika) kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonunda en yüksek pektin verimi değerinin ( $14.32\text{ g/100 g}$  kuru madde)  $15\text{ V/cm}$  voltaj gradyanında,  $90^\circ\text{C}$  ekstraksiyon sıcaklığı ve  $30$  dakikalık bekleme süresi sonunda elde edildiğini bildirmişlerdir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1165072

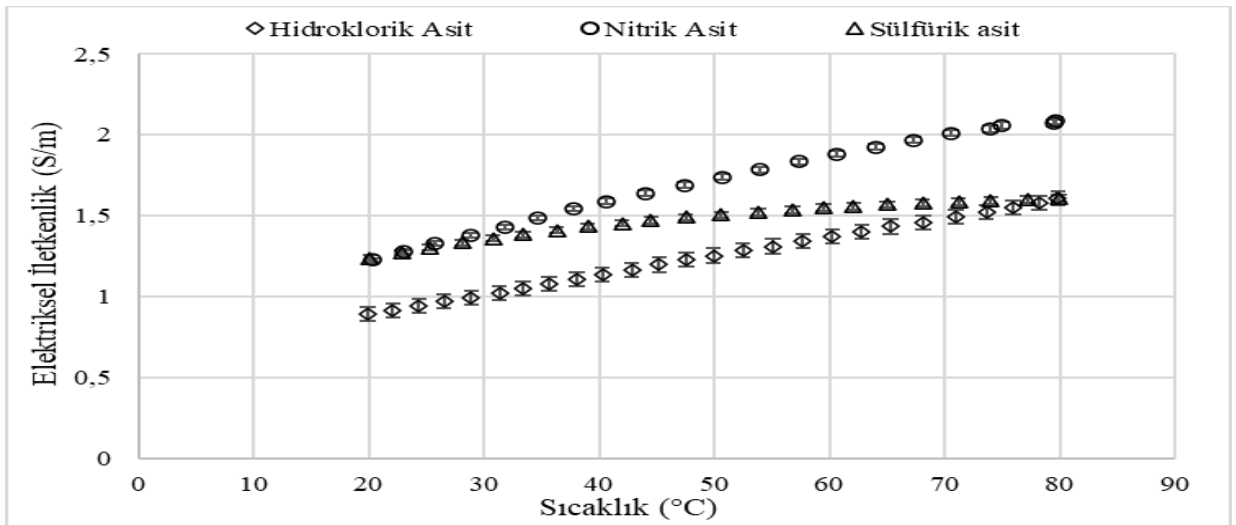
**Tablo 1.** Farklı asit türleri kullanılarak ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemine ait pektin örneklerinin ısınma süresi, ortalama sıcaklık, ısınma enerjisi ve toplam harcanan enerji değerleri

Asit Türü (pH 1.5)	Isınma Süresi (s)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Isınma Enerjisi (J)	Toplam Harcanan Enerji (J)
HCl	252±10.2 <sup>b</sup>	79.75±0.69 <sup>a</sup>	39007±1087 <sup>a</sup>	58756±1826 <sup>a</sup>
HNO <sub>3</sub>	199±8.6 <sup>a</sup>	79.98±0.72 <sup>a</sup>	40097±986 <sup>a</sup>	59116±1248 <sup>a</sup>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	210±9.4 <sup>a</sup>	80.02±0.98 <sup>a</sup>	38967±1426 <sup>a</sup>	59428±2196 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> Aynı sütundaki farklı harflendirmelerin, ilgili değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır (p<0.05)

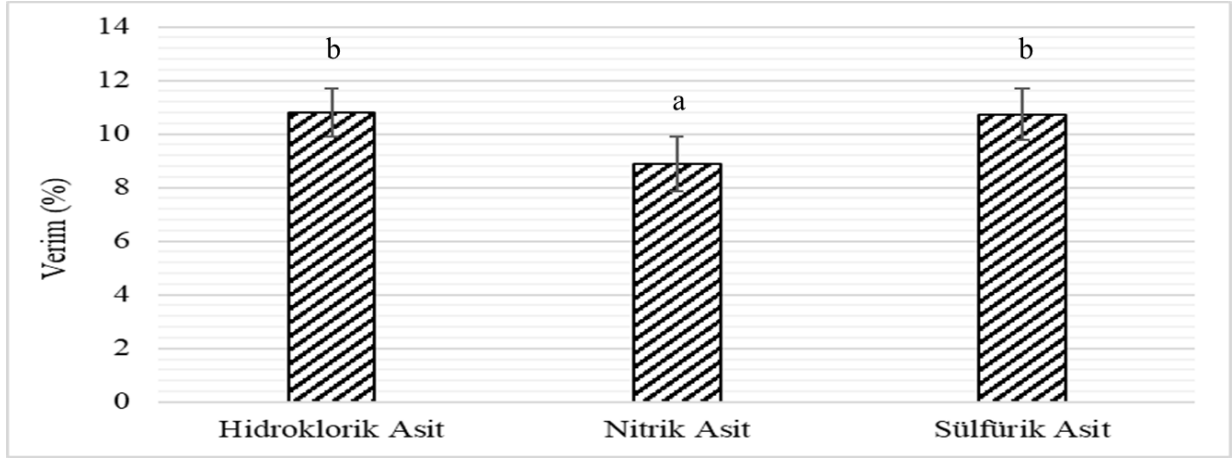


**Şekil 2.** Farklı asit türleri kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemlerinde ekstraksiyon işlemi boyunca zamana bağlı sıcaklık değerlerindeki değişim



**Şekil 3.** Farklı asit türleri kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemlerinde sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim





Şekil 4. Farklı asit türleri kullanılarak elde edilen pektin verimi değerlerindeki değişim

## SONUÇLAR

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile sabit voltaj gradyanı, sabit katı:sıvı oranı ve farklı asit türleri ile ayarlanmış sabit pH 1.5 değerinde 10 dakika bekleme süresi sonunda limon kabuğu tozundan pektin üretimi gerçekleştirilmiştir. Isınma süresi üzerine kullanılan farklı asit türünün etkisi olduğu ve sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Ancak kullanılan farklı asit türünün hedef ekstraksiyon sıcaklığına ulaşması için gerekli olan ısınma enerjisi ve toplam ekstraksiyon işlem süresi için toplam harcanan enerji değeri üzerine etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sonunda % pektin verimi üzerine kullanılan farklı asit türünün etkisi olduğu ve en yüksek pektin veriminin (%10.79) ise sülfürik asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde elde edildiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı atık maddeleri için ekstraksiyon işlemlerinde farklı asit çözeltisi kullanımının etkisini ortaya koyması açısından son derece önem arz etmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2180135 nolu proje kapsamında finansal olarak 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

- Ariç Sürme, S. ve Sabancı, S., (2021). The usage of ohmic heating in milk evaporation and evaluation of electrical conductivity and performance analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9), e15522. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15522>
- Baysal, T., İçier, F. ve Baysal, H.A., (2011). Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri İzmir, 1. Basım. Sidas Medya Yayınları.
- Bélafi-Bakó, K., Cserjési, P., Beszédes, S., Csanádi, Z. ve Hodúr, C., (2011). Berry Pectins: Microwave-Assisted Extraction and Rheological Properties. *Food and Bioprocess Technology* 2011 5:3, 5(3), 1100–1105. <https://doi.org/10.1007/S11947-011-0592-9>
- Cevik, M. ve İcier, F., (2018). Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12675>
- Cevik, M., (2021). Electrical conductivity and performance evaluation of verjuice concentration process using ohmic heating method. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), e13672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13672>
- Cevik, M.ve İcier, F., (2021). Comparison of quality attributes of minced beef samples thawed by ohmic and conventional methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15122. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15122>
- Çilingir, S., Goksu, A.ve Sabancı, S., (2021). Production of Pectin from Lemon Peel Powder Using Ohmic



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1165072

- Heating-Assisted Extraction Process. *Food and Bioprocess Technology*, 14(7), 1349–1360. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02636-9>
- De Vries, J.A., Hansen, M., Söderberg, J., Glahn, P.E. ve Pedersen, J.K., (1986). Distribution of methoxyl groups in pectins. *Carbohydrate Polymers*. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(86\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0144-8617(86)90017-2)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Retrieved May 3, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC..>
- Gavahian, M., Mathad, G.N., Pandiselvam, R., Lin ve J. Sun, D.W., (2021). Emerging technologies to obtain pectin from food processing by-products: A strategy for enhancing resource efficiency. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 42–54. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.06.018>
- Geankoplis, C.J., (2003). Transport processes and separation process principles (5. Basım; C. J. Geankoplis, Ed.). New Jersey: Pearson.
- Goksu, A., Duran, G., Çilingir, S., Cevik, M. ve Sabanci, S., (2021). Performance evaluation of pectin extraction from grapefruit peel powder by ohmic heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16813. <https://doi.org/10.1111/JFPP.16813>
- İçier, F., (2012). Ohmic Heating of Fluid Foods. In *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies For Fluid Foods* (pp. 305–367). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00011-6>
- İçier, F. ve Ilicali, C., (2005). The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *European Food Research and Technology*, 220(3–4), 406–414. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1043-x>
- Icier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M. ve Cokgezme, O.F., (2017a). Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.014>
- Icier, F., Cokgezme, O.F. ve Sabanci, S., (2017b). Alternative thawing methods for the blanched/non-blanched potato cubes: Microwave, Ohmic, and carbon fiber plate assisted cabin thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12403. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12403>
- Sabanci, S., (2020). Investigation of Electrical Conductivity Value and Cooking Homogeneity During Ohmic Cooking of Turkish Sausage *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 219-226. <https://doi.org/10.29132/ijpas.788791>
- Sabanci, S., (2021). A study on electrical conductivity and performance evaluation of ohmic evaporation process of grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15487. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15487>
- Sabanci, S., Çevik, M. ve Gökso, A., (2021). Investigation of time effect on pectin production from citrus wastes with ohmic heating assisted extraction process. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13689>
- Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H. ve Barzegar, M., (2017). Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 117, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.03.025>
- Sarah, M., Hanum, F., Rizky, M. ve Hisham, M.F., (2018). Microwave-assisted extraction of pectin from cocoa peel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012079>
- Sengar, A.S., Rawson, A., Muthiah, M. ve Kalakandan, S.K., (2020). Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, 104812. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104812>
- Tektaş Taşan, N. ve Akpınar, Ö., (2020). Greyfurt Kabuklarından Mikrodalga Destekli Pektin Ekstraksiyonu ve Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(7), 1528–1535. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i7.1528-1535.3401>
- Tunç, M.T. ve Odabaş, H.İ., (2021). Single-step recovery of pectin and essential oil from lemon waste by ohmic heating assisted extraction/hydrodistillation: A multi-response optimization study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 74(August). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102850>
- Yang, J.S., Mu, T.H. ve Ma, M.M., (2019). Optimization of ultrasound-microwave assisted acid extraction of pectin from potato pulp by response surface methodology and its characterization. *Food Chemistry*, 289, 351–359. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.03.027>

## Asma Yaprağı Türünün Sınıflandırılması için Doğal ve Sentetik Verilerden Derin Öznitelikler Çıkarma, Birleştirme ve Seçmeye Dayalı Yeni Bir Yöntem

Andaç İmak<sup>1\*</sup>, Gürkan Doğan<sup>2</sup>, Abdulkadir Şengür<sup>3</sup>, Burhan Ergen<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye,

<sup>3</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elâzığ, Türkiye,

<sup>4</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elâzığ, Türkiye

\*andacimak@munzur.edu.tr<sup>ID</sup>, gurkanogan@munzur.edu.tr<sup>ID</sup>, ksengur@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, bergen@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi:17.07.2022, Makale kabul tarihi:13.12.2022

### Öz

Son yıllarda Türkiye’de zengin mineral, diyet lif ve vitamin içeren asma yapraklarının üretimi ve tüketimi yoğun olarak gerçekleşmektedir. Bununla birlikte hazır gıda sektöründe asma yapraklarından yapılan dolma yemeğine talep, farklı ülkelere ihracat olanaklarını da arttırmaktadır. Bunun gibi ticari tarım faaliyetlerinde sürdürülebilir bir pazarlama için kalite standartlarının oluşturulması önemlidir. Araştırmacılar, akıllı tarım uygulamalarında derin öğrenme ile birlikte olumlu ilerlemeler kaydetmiştir. Bu çalışmada, tüketim için kullanılacak asma yapraklarının türünün tanınması için yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde Ak, Ala Idris, Büzgülü, Dimnit ve Nazli olmak üzere 5 farklı asma yaprak türünden 500 görüntü içeren bir veri seti kullanılmıştır. Bu görüntülerden veri artırma teknikleri ile 3500 adet görüntü elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen görüntülere ESRGAN modeli uygulanarak daha ayrıntılı dokulardan oluşan bir veri kümesi elde edilmiştir. Bu görüntülerden öznitelik çıkarmak için VGG 19 derin öğrenme modeli kullanılmıştır. Oluşturulan iki ayrı veri setinden elde edilen öznitelikler birleştirilmiştir. Bu şekilde hibrit bir öznitelik çıkarıcı model oluşturulmuştur. PCA algoritması kullanılarak en iyi 175 adet öznitelik alt kümesi seçilmiştir. Son olarak elde edilen özniteliklerin sınıflandırılması için Destek Vektör Makinesi (DVM) kullanılarak %96,14 oranında doğruluk hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Asma yaprağı, öznitelik çıkarma, öznitelik seçme, PCA, DVM, ESRGAN

## A New Method Based on Extracting, Combining and Selecting Deep Features from Natural and Synthetic Data for Classification of Grapevine Leaf Species

### Abstract

In recent years, the production and consumption of grapevine leaves containing rich minerals, dietary fiber and vitamins has been intensively realized in Turkey. However, the demand for stuffed food made from grapevine leaves in the convenience food sector increases the export opportunities to different countries. In commercial agricultural activities such as this, it is important to determine quality standards for sustainable marketing. Researchers have made positive progress with deep learning in smart farming applications. In this study, we propose a new method for recognizing the type of grapevine leaves to be used for consumption. In the proposed method, a dataset containing 500 images of 5 different grapevine leaf species, namely Ak, Ala Idris, Büzgülü, Dimnit and Nazli, was used. From these images, 3500 images were obtained with data augmentation techniques. In addition, a dataset consisting of more detailed textures was obtained by applying the ESRGAN model to the obtained images. VGG 19 deep learning model was used to extract features from these images. The features obtained from the two separate data sets were combined. In this way, a hybrid feature extraction model was created. The best 175 feature subsets were selected using the PCA algorithm. Finally, 96.14% accuracy was calculated using a Support Vector Machine (SVM) for classification of the obtained features.

**Keywords:** Grapevine leaf, feature extraction, feature selection, PCA, SVM, ESRGAN

## GİRİŞ

Türkiye’de bağcılık önemli tarım kollarından birisidir. Bağcılık çok sayıda çiftçinin geçim kaynağı olması ile birlikte farklı değerlendirme şekilleri ile tarımsal ürünler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde asmadan elde edilen üzüm; kurutmalık, şaraplık ve sofralık olarak tüketilmesi ile birlikte asmadan elde edilen yapraklarda geleneksel türk mutfağında kullanıldığı bir üründür. Asma yapraklarından yapılan sarma geleneksel Osmanlı mutfağını temsil eden yemeklerden birisidir. Aynı zaman asma yaprağı, bazı üzüm türlerinde meyveden daha iyi ekonomik getiri sağlamaktadır. Üzüm üretiminin uygun olmadığı iklim bölgelerinde asma yaprağı üretimi mümkündür. Bu tip bölgelerde kırsal kalkınma projeleri kapsamında göçü önlemek için tarımla uğraşan insanlara getirisi yüksek olan salamura asma yaprağı üretimi önerilmektedir. Türkiye’nin asma yaprak ihracatından yaklaşık 13,5 milyon dolar, yapraktan üretilen sarma ve dolmadan ise 135 milyon dolar ihracat geliri elde edildiği bildirilmektedir. Üzüm çeşitleri kalınlık, dilimlik, tüylülük ve şekil bakımından farklı yaprak özelliklerine sahiptirler. Asma yaprağının her çeşidi yemek için tercih edilmemektedir. Tüketim için kullanılacak olanlar mümkün olduğunca ince damarlı, tüysüz ve ince olmalıdır. Ayrıca dilimsiz ve damakta ekşimsi bir tat bırakan çeşitleri daha çok tercih edilmektedir. Bu yüzden tüketim için kullanılacak asma türünün diğerlerinden ayrılması bu alanda önemli bir ihtiyaçtır (Cangi ve Yağcı, 2017).

Günümüzde yapay zekâ içeren sistemler tarım alanlarında da kullanılmaktadır. Literatürde bitki çeşitlerinin belirlenmesine yönelik birçok yöntem sunulmuştur. Ayırt edici parametre olarak yaprak tabanlı özelliklerin kullanıldığı bu sistemlerde, yüksek başarımlarına sahip derin öğrenme modelleri tercih edilmektedir. Araştırmacılar bitki yapraklarının sınıflandırılması için farklı veri setleri kullanarak çok ölçekli bir birleşimden oluşan evrişimli sinir ağı MSF-CNN (Hu vd., 2018), üç derin öğrenmeye dayalı model SWP-Leaf NET (Beikmohammadi vd., 2022), sekiz katmanlı yapı içeren 26 katmanlı bir derin öğrenme modeli ResNet26 (Sun vd., 2017), çok bölümlü evrişimsel sinir ağı modeli MD-CNN (Turkoglu vd., 2021), ResNet-50 mimarisi ve bu özelliklerin birleştirilmesi için Bonferroni ortalama operatörünün kullanıldığı BLeafNet (Ganguly vd., 2022), beş evrişim ve tam bağlantılı katman ile toplamda altı öğrenilebilir katman içeren

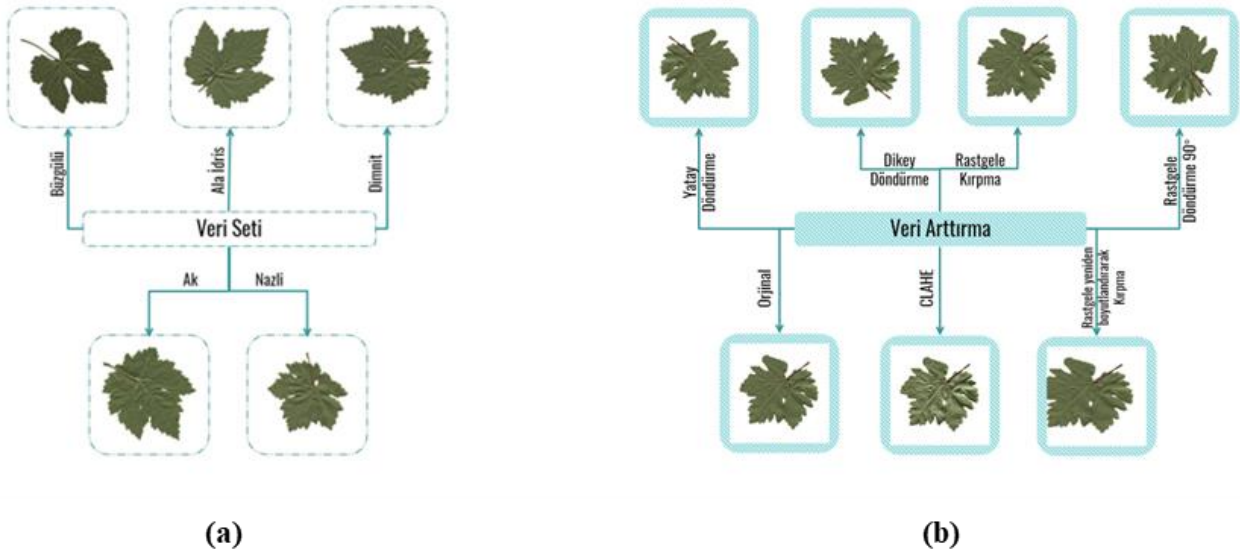
SeedNet (Loddo vd., 2021) ve önceden eğitilmiş evrişimli sinir ağının kullanıldığı DeepPlant (Lee vd., 2015) modeli gibi derin mimariler önermişlerdir. Ayrıca makalede kullanılan veri seti ile literatürde bir adet çalışma mevcuttur. Koklu ve arkadaşları asma yaprak çeşitlerinden oluşturdukları veri setinin sınıflandırılması için derin özelliklere dayalı bir CNN-SVM modeli önermişlerdir. Önceden eğitilmiş MobileNetV2 transfer öğrenme yaklaşımı ile derin özellikler elde edilmiştir. Sınıflandırma başarımının artırılması için Chi-Squares özellik seçim algoritması uygulanmıştır. Son olarak elde edilen özellikler destek vektör makineleri tarafında sınıflandırılmıştır (Koklu vd., 2022).

Görsel olarak ayırt edilmesi oldukça zor olan asma yapraklarının toplandığı gıda sektöründe kalitesine göre ayrıştırılması önemlidir. Özellikle ihracat için hazırlanan konserve türüne göre kullanılan asma yaprakları çeşitlilik göstermektedir ve bir çok çeşidi barındıran yaprakları sınıflandırmak zor bir problemdir. Bu çalışmada, söz konusu problemin üstesinden gelebilmek için asma yapraklarını türlerine göre otomatik olarak belirlenmesini sağlayan yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem derin öğrenmeye dayalı ve dört temel aşamadan oluşmaktadır. Önerilen yöntemin ilk aşamasında, geleneksel veri artırma teknikleri ile birlikte ESRGAN modeli de kullanılarak verilerin ayrıntılı doku özelliğinin korunduğu veri artırma işlemi yapılmıştır. İkinci aşamasında, Arttırılmış Veri (AV) ve Süper Çözünürlüklü Verilerle (SÇV), önceden eğitilen VGG19 CNN modeli ile eğitim yapılarak özellik çıkarma işlemi uygulanmıştır. Üçüncü aşamada, elde edilen özellikler birleştirilerek en iyi özellik alt kümesinin PCA algoritması ile seçilmesi sağlanmıştır. Son aşamada, bu seçilen özellik alt kümesi ile Destek Vektör Makinesi (DVM) algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Önerilen model Koklu ve arkadaşlarının (Koklu vd., 2022) oluşturdukları asma yaprağı veri seti kullanılarak test edilmiş ve %96,14 doğruluk oranı ile yüksek başarı elde edilmiştir.

Makalenin diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Çalışmanın ikinci bölümünde Materyal ve Metot başlığı altında kullanılan veri seti ve teorik bilgiler sunulmuş, üçüncü bölümde önerilen yöntemden bahsedilmiş, dördüncü bölümde deneysel sonuçlar analiz edilerek literatürdeki ilgili çalışma ile

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1144615

karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuç kısmına yer verilmiştir.



Şekil 1. (a) Asma yaprağı çeşitleri, (b) Elde edilen yeni asma yaprak görüntüleri

## MATERYAL VE METOT

### Veri Seti

Bu çalışmada Koklu ve arkadaşları (Koklu vd., 2022) tarafından oluşturulan asma yaprağı veri seti kullanılmıştır. Üzüm hasadı öncesi elde edilen asma yaprak görüntülerinden bir veri seti hazırlanmıştır. Bu veri seti Ak, Ala İdris, Büzgülü, Dimnit ve Nazli olmak üzere beş farklı sınıftan oluşmaktadır. Her bir sınıfa ait 100 adet görüntü mevcuttur. Şekil 1 (a)'da beş farklı sınıf için örnek görüntüler verilmiştir.

### Veri Arttırma

Görüntüleri sınıflandırılırken etkili veri büyütme ile sistemin performansı oldukça artırılabilir. Bu çalışmada asma yaprağı görüntülerinden oluşan veri setine Python kütüphanelerinden olan ve içerisinde çeşitli arttırma tekniklerini bulunduran Albumentation kullanılmıştır. Bu kütüphanedeki random resized crop, clahe, horizontal flip, vertical flip, random crop and random rotate 90 teknikleri kullanılarak toplamda 3500 adet görüntü elde edilmiştir. Şekil 1 (b)'de bir asma yaprağının veri arttırma teknikleri ile elde edilen yeni görüntüleri gösterilmiştir (Albumentations, 2022).

### Geliştirilmiş Süper Çözünürlüklü Çekişmeli Üretici Ağlar

2018'de Wang ve arkadaşları, Geliştirilmiş Süper Çözünürlüklü Çekişmeli Üretici Ağ (Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks / ESRGAN) modelini önermiştir (Wang vd., 2018). PIRM-SR Challenge'da birinciliği kazanan ESRGAN modeli düşük çözünürlüklü görüntülerden, daha yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmeyi amaçlamaktadır. Model, SRResNet (Ledig vd., 2017)'in temel mimarisindeki temel (basic) blokların yoğun (dense) blokları ile değişmesi ve katmanlardaki toplu normalleştirilmenin (batch normalization) kaldırılması ile oluşturulmuştur. Şekil 2'de Dimnit sınıfına ait düşük çözünürlüklü bir görüntüden ESRGAN yöntemi ile süper çözünürlüklü görüntü elde edilmesi ve ESRGAN modelinin genel blok yapısı gösterilmiştir.

### Transfer Öğrenimi

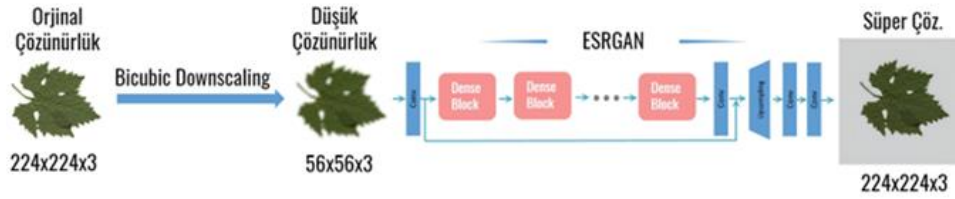
Veri setinin sınırlı boyutu, CNN katmanları ile ayırt edici öznelikleri çıkarmak için yeterli olmamaktadır. Bu yüzden küçük bir veri kümesi kullanılarak sıfırdan eğitilmiş bir derin öğrenme modelinin yüksek performans elde etmesi oldukça zordur. Bu problemin çözümü için transfer öğrenme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Imak vd., 2022). Önerilen modelde ImageNet ile önceden



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1144615

eğitilmiş VGG 19 mimarisi kullanılmıştır. Simonyan ve Zisserman tarafından önerilen VGG 19 mimarisi, beş evrişim katmanından, beş maksimum havuzlama katmanından ve ardından üç tam bağlantılı katmandan oluşur (Simonyan ve Zisserman, 2015). Mimari, 3x3 boyutunda ve adım sayısı bir olan evrişim katmanlarını içermektedir. Ayrıca her bir evrişim işlemi sonucunda elde edilen öznitelikler ReLU aktivasyon fonksiyonundan geçirilmektedir.

Havuzlama işlemi olarak 2x2'lik adım sayısı 2 olan maksimum havuzlamadan (max pooling) oluşur (Carvalho vd., 2017). Bu çalışmada, ESRGAN ve diğer veri artırma teknikleri uygulanarak elde edilen görüntülerden 512 adet öznitelik çıkarılmıştır. Bu öznitelikler, VGG19 modelinin küresel ortalama havuzlama (global average pooling) katmanından elde edilen ağırlıklardır.



Şekil 2. ESRGAN modeli

### Temel Bileşen Analizi (PCA)

Öznitelik seçimi, veriyi temsil eden en iyi öznitelik alt kümesinin tespitidir. Bu sayede, öznitelik boyutu azaltırken aynı zamanda bilginin maksimum olarak korunması sağlanır. Bu çalışmada derin özellikleri daha az sayıda değişkenle ifade edebilecek en iyi dönüşümü belirlemek için PCA algoritması kullanılmıştır. Karl Pearson (Pearson, 1901) tarafından önerilen yöntem, sınıf etiketini yok sayar ve bilgi kaybını en aza indiren maksimum varyans temel bileşenlerin yönlerini bulur. PCA'nın temel yaklaşımı aşağıdaki gibi tanımlanır (Nkengfack vd., 2021):

- Giriş d-boyutlu öznitelik uzayında bir dizi vektörü  $X^T(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ ;
- Kovaryans matrisini hesapla  $\Sigma$ :

$$\Sigma = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^T (x_i - \bar{x})$$

Burada x verilerin ortalama değeridir.

- Kovaryans matrisinin özvektörlerini ve özdeğerlerini hesapla ve azalan düzende sıralayın;
- En büyük özdeğerlere karşılık gelen ilk özvektörleri kullanarak temel bileşenlerin  $dxk$  izdüşüm matrisini  $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_k)$  tanımla

- Son adımda, orijinal veri  $X$ 'in bilgilerinin büyük bir kısmını aşağıdakileri kullanarak yeni  $k$ -boyutlu alt uzayda  $Y$  üzerine yeniden yapılandır:

$$Y = X * W$$

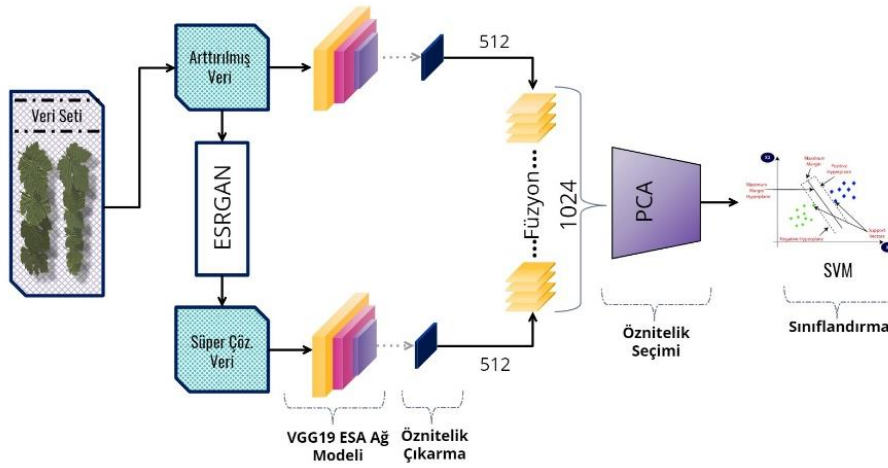
### Önerilen Yöntem

Önerilen yöntem, beş temel adımdan oluşmaktadır. Şekil 3'te gösterilen modelin ilk adımında, CNN modellerinin öğrenmesini optimum şekilde sağlamak için orijinal veri setine görüntü artırma teknikleri uygulanır ve 3500 adet görüntüden oluşan yeni veri seti, Arttırılmış Veri (AV) olarak adlandırılır. Daha sonra, arttırılmış verinin %80 eğitim ve %20'si test verisi olarak ayrılır. Ardından, bu eğitim ve test verisi ayrı ayrı ESRGAN yöntemiyle yeni sentetik veri üretimine tabi tutulur. Bu şekilde eğitim ve test verisinin ayrı ayrı yapılmasının nedeni, eğitim ve test verilerinin birbirine karışması önlenmektedir. Yeni veri üretiminde 2800 eğitim ve 700 test verisi oluşurken bu veri seti, Süper Çözünürlüklü Veri (SÇV) olarak adlandırılmıştır. Yeni veri üretiminde ESRGAN yönteminin kullanılmasının nedeni ise, diğer süper çözünürlüklü yöntemlere göre daha doğal ve ayrıntılı doku bilgisini üretme özelliğinden faydalanmaktadır. İkinci adımda, AV ve SÇV'den sınıfları öğrenebilmek için VGG19

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1144615

CNN modelleri ile transfer öğrenme yapılmıştır. Bu CNN modelinin seçilmesinin nedeni, küçük veri setlerinde gösterdikleri başarılı performanslarından dolayıdır. Ayrıca, transfer öğrenmeli CNN modeliyle birlikte kullanılan minimum gereksinimli katmanlar; küresel ortalama havuzlama (global average pooling) ve softmax sınıflandırıcı tam bağlantılı (dense) katmandır. Dolayısıyla, bu çalışmada kullanılan VGG19 CNN modelinin çıkış / son

katmanları, bu iki katman ile değiştirilmiştir. Buradaki amaç; sınıf sayısını bizim probleme uyarlayabilmektir. Bu adımda, VGG19 CNN modeli AV ve SÇV setleri ile eğitilir. Üçüncü adımda, eğitilen CNN modellerinin çıkış katmanında yer alan tam bağlantılı katmanından 512 adet öznelik çıkarılır. Her bir modelden çıkarılan öznelikler birleştirilerek (füzyon) 1024 adet öznelik olması sağlanır. Dördüncü adımda, PCA kullanılarak önemli



Şekil 3. Önerilen yöntemin şematik tasarımı

öznelikler seçilir. Bu noktada, seçilecek öznelik alt kümesinin en iyi özneliklerden oluşmasını sağlamak için bileşen sayısı 25'ten başlatılarak 1000'e kadar 25'er artacak şekilde Destek Vektör Makinesi (DVM) ile doğruluk değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Bu şekilde, sınıflandırıcı için PCA'nın bileşen sayısı ve DVM'nin düzenleme (regularization, C) ve RBF çekirdeğinin katsayı ( $\gamma$ ) parametrelerinden optimum değerler belirlenmiştir. Beşinci adımda, DVM yöntemi kullanılarak sınıflandırma yapılır. Önerilen yöntemin şematik tasarımı Şekil 3'te sunulmuştur.

VGG19 ESA modelinde kullanılan hiperparametreler Tablo 1'de verilmiştir. Ek olarak, bu modellerde kategorik çapraz entropi (categorical cross entropy) kayıp fonksiyonu kullanılmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak Adam, SGD ve RMSprop denenerek en iyi sonuçları veren SGD algoritması seçilmiştir. Momentum ve Öğrenme Oranı değerleri ise iteratif olarak denenerek en iyi sonucu veren değerler seçilmiştir.

## DENEYSSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada önerilen yöntemin performansını ölçmek için Doğruluk (Acc.), Özgüllük (Spe.) Hassasiyet (Pre.), Anma (Rec.) ve F1-Skoru gibi karmaşıklık matrisinden elde edilen performans metrikleri kullanılmıştır. Bu metriklerin hesaplaması için true positive (TP), true negative (TN), false positive (FP) ve false negative (FN) olmak üzere 4 temel parametreye ihtiyaç duyulmaktadır (Koklu vd., 2022), (Doğan ve Ergen, 2022), (Doğan ve Ergen, 2022). Bu metrikler denklem (1), (2), (3), (4) ve (5)'de formüle edilmiştir.

$$Acc = (TP + TN)/(TP + FN + TN + FP) \quad (1)$$

$$Spe = TN/(TN + FP) \quad (2)$$

$$Pre = TP/(TP + FP) \quad (3)$$

$$Rec = TP/(TP + FN) \quad (4)$$

$$F1-Skoru = 2TP/(2TP + FP + FN) \quad (5)$$

Deneysel çalışmalarda, Python 3.7.13, Tensorflow 2.8.0, Keras 2.8.0 gibi yazılımsal



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1144615

teknolojiler ve Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.30GHz, 27.6 GB RAM, Tesla T4 - 16 GB gibi donanımsal teknolojiler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, deneysel çalışmalar, öznitelik çıkarılmasına veya öznitelik çıkarılmamasına göre temelde 2 aşamaya ayrılmıştır. Bu şekilde deneysel çalışmanın 2 aşamada olmasının nedeni, öznitelik çıkarmanın veya çıkarmamanın önerilen yöntemde nasıl bir katkı yapacağıının anlaşılmasını sağlamaktır. İlk aşamada, AV ve SÇV verisiyle öznitelik

çıkarılmadan VGG19 CNN modeli kullanılarak asma yaprağı sınıflandırması yapılarak deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bu şekilde, önerilen yöntemde kullanılan AV ve SÇV verisinin, VGG19 CNN modellerine her bir veri setinin ayrı ayrı değerlendirilebilir olması amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise, AV ve SÇV verisiyle eğitilen VGG19 CNN modelleri, birer öznitelik çıkarıcı olarak kullanılmıştır. Öznitelik çıkarma görevinde kullanılan bu CNN modellerinin çıkışı küresel

**Tablo 1.** VGG19 CNN modelinde kullanılan hiper-parametreler

Veri Seti	ESA Modeli	Görüntü Boyutu	Optimizasyon Yöntemi	Momentum	Epoch	Mini Batch	Öğrenme Oranı
AV	VGG19	224x224	Stochastic Gradient	0.9	200	32	1e-2
SÇV	VGG19		Descent				

ortalama havuzlama (global average pooling) katmanı sağlamaktadır. Bu katman, VGG19 CNN modelinin transferden ve verilerden öğrenme düzeylerini optimumda tutmayı amaçlamaktadır. Ek olarak, bu katmandan 512 adet öznitelik ile öznitelik çıkarma yapılmıştır. Çıkarılan öznitelikler, bu aşamada, öncelikle birleştirilerek 1024 adet öznitelik elde edilmiştir. Daha sonra, 1024 adet öznitelikten etkisiz ve önemsiz olan öznitelikler atılarak en önemli özniteliklerin seçimi Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis/PCA) yöntemi ile yapılmıştır. Bu noktada, öznitelik seçimini en iyi bir şekilde başarabilmek için PCA 'nın en önemli parametrelerinden olan komponent sayısını iyi belirlemek gerekir. Bunun için, komponent sayısı 25'den başlatılarak 25'er artacak şekilde ve 1000'e kadar devam eden bir teknikle en iyi başarıma ulaşmak için en iyi komponent sayısı 175 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, PCA ile seçilen özniteliklerin sınıflandırmadaki başarısını değerlendirmek için de DVM algoritması kullanılmıştır.

Diğer taraftan, orijinal veri setine veri artırma yöntemleri uygulanarak her bir sınıftan 500 adet görüntü olmak üzere toplam 3500 adet görüntü türetilmiştir ve bu türetilen veri, Arttırılmış Veri (AV) olarak adlandırılmıştır. Daha sonra, CNN yöntemlerinin eğitimi ve testinde kullanılmak üzere Arttırılmış Veri Setinin %80'i eğitim ve %20'si test

verisi için ayrılmıştır. Bunun yanı sıra, bu eğitim ve test veri seti ayrı ayrı ESRGAN yönteminden geçirilerek yeni bir sentetik veri seti elde edilmiştir ve bu da Süper Çözünürlüklü Veri (SÇV) olarak adlandırılmıştır. Özellikle, eğitim ve test veri seti ESRGAN'a ayrı ayrı verildiği için türetilen yeni veri seti de %80 eğitim ve %20 test verisi olmaktadır. Bu çalışmada, ESRGAN'ın kullanılmasının nedeni, diğer Süper Çözünürlüklü GAN' lardan daha doğal ve ayrıntılı doku bilgisini üretme özelliğinden faydalanmaktır. Arttırılmış ve Süper Çözünürlüklü Veri ile VGG19 CNN modellerine eğitim yapıldığında elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi AV seti ile yapılan eğitimde VGG19 CNN modelinin doğruluğu %87'ye ulaşırken kayıp değeri 0,36'ya kadar ulaşmaktadır. Ancak, SÇV seti ile VGG19 doğruluk değeri %84,7'e kadar ulaşırken kayıp grafiği 0.5'e kadar ulaşmaktadır.

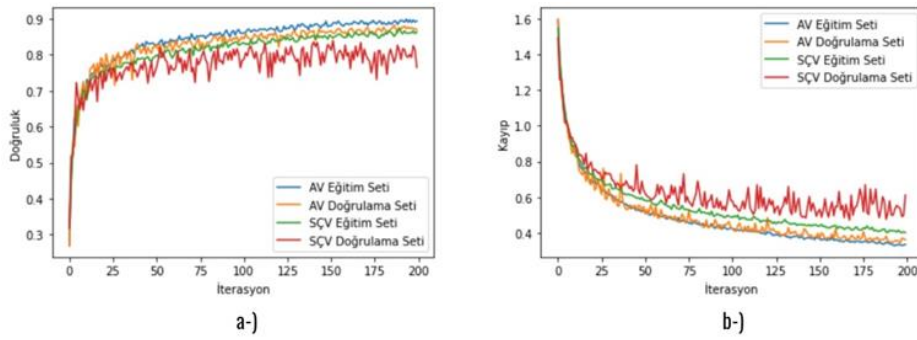
Tablo 2'de AV ve SÇV veri setlerinin farklı kombinasyonlarına göre VGG19 modeli ile asma yaprağının sınıflandırma sonuçları verilmiştir. Bu tabloya göre, SÇV veri seti VGG19 ile eğitilip Softmax yöntemi ile sınıflandırıldığında yaklaşık olarak %85 doğruluk elde edilirken AV veri seti ile sınıflandırma yapıldığında doğruluk %87'ye çıkmaktadır. Önerilen yöntemde ise AV ve SÇV veri seti VGG19 CNN modeli kullanılarak elde edilen özniteliklerin füzyonu ve PCA öznitelik alt kümesi

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1144615

seçimi yapılarak DVM algoritması ile %96,14 oranında doğruluğa ulaşılmıştır. Bununla paralel olarak, hassasiyet, anma ve f1-skorunda da en yüksek başarılar elde edilmiştir.

Şekil 5-a'da öznelik sayısı 25'ten başlatılarak 1000'e kadar 25'er artarak PCA ile seçilip DVM algoritması ile doğruluk metriği değerlendirmeye alınmıştır. Bu şekilde yapılan değerlendirme sonucunda optimum öznelik sayısı 175 olurken DVM parametrelerinden düzenleme (regularization) parametresi  $1 \times 10^3$  ve RBF

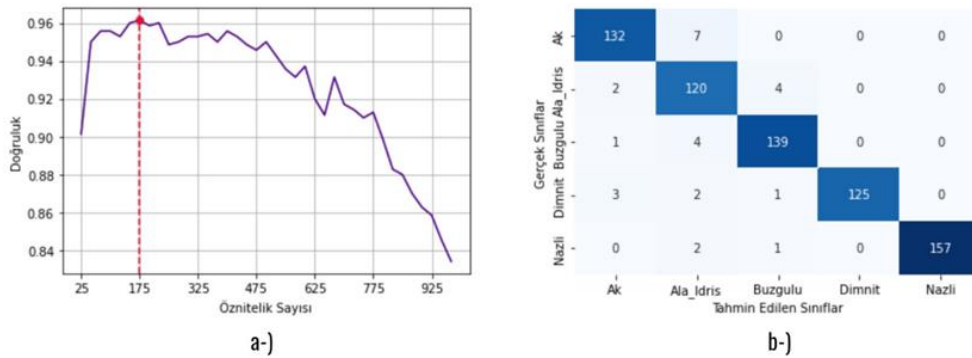
çekirdeğinin katsayısı  $5 \times 10^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, nihai sonuçları elde etmek için 175 öznelik ile testler yapılmıştır. Buna göre DVM algoritması ile yapılan sınıflandırma sonucunda elde edilen karmaşıklık matrisi de Şekil 5-b'deki gibi görülmektedir. Karmaşıklık matrisinde de görüldüğü gibi 27 adet görüntünün sınıfı hatalı tahmin edilmiştir. Bu da, 700 adet test görüntüsünden 27'sinin yani  $27 \times 100 / 700 = \%3,86$  hatalı tahmin olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4. AV ve SÇV verilerine göre VGG19 CNN yöntemi ile elde edilen doğruluk (a) ve kayıp (b) grafikleri

Tablo 2. VGG19 Modelinin Veri Setlerine Göre Kıyaslaması

Yöntemler	Doğruluk (Acc.)	Hassasiyet (Pre.)	Anma (Rec.)	F1-Skoru
SÇV + VGG19 + Softmax	0,8471	0,8644	0,8429	0,8456
AV + VGG19 + Softmax	0,8700	0,8689	0,8673	0,8663
<b>Füzyon + PCA + DVM</b>	<b>0,9614</b>	<b>0,9608</b>	<b>0,9605</b>	<b>0,9603</b>



Şekil 5. VGG19 CNN modelinin öznelik sayısına göre doğruluk grafiği (a) ve seçilen öznelik alt kümesine göre elde edilen karmaşıklık matrisi (b)

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1144615

Önerilen yöntem olan Füzyon, PCA ve DVM kombinasyonu ile elde edilen karmaşıklık matrisi sonuçları sınıf bazlı olarak Tablo 3'te gösterilmektedir. Buna göre, tüm sınıflar için genel doğruluk oranı %96,14 olurken en yüksek hassasiyet, anma, ve F1-skoruna Nazli sınıfı ile ulaşılmıştır. Aksine, en düşük hassasiyet ve F1-skoru değeri Ala Idris sınıfında gerçekleşirken en düşük anma değeri Ak sınıfında gerçekleşmiştir. Tablo 4'te önerilen yöntemin literatürdeki diğer yöntemlere göre kıyaslaması sunulmuştur. Aynı veri seti ile sadece Koklu vd. (2022)'lerinin yaptığı çalışma bulunmaktadır. Buna göre, 175 öznitelik ve RBF çekirdeği ile önerilen çalışma, linear, cubic ve gaussian çekirdekli 1000 öznitelik ve linear

çekirdekli 250 öznitelik ile yaptıkları çalışmaya göre %96,14 doğrulukla daha başarılı olmuştur. Önerilen çalışmada, VGG19 ESA modeli kullanılırken, karşılaştırma yapılan çalışmada MobileNetV2 ESA kullanılmıştır. Farklı ESA modellerinin kullanımı iyi özniteliklerin elde edilmesi için farklı oranlarda etkili olmaktadır. Ancak, öznitelik alt kümesinin seçimi ve sınıflandırma yöntemleri de sınıflandırma başarısını büyük oranda etkilemektedir. Tablo 2'de görüldüğü gibi sadece VGG19 ESA modeli ile sınıflandırma yapıldığında en yüksek doğruluk %87 olurken önerilen yöntem ile sınıflandırma yapıldığında doğruluk %96,14'e kadar çıkmaktadır. Bu da, yaklaşık olarak %9 oranında daha yüksek başarısı ile önerilen yöntemin önemini ortaya koymaktadır.

**Tablo 3.** Önerilen yöntem ile elde edilen karmaşıklık matrisi sonuçları

Sınıflar	Doğruluk (Acc.)	Hassasiyet (Pre.)	Anma (Rec.)	F1-Skoru	Görüntü sayısı
<b>Ak</b>		0,9565	0,9496	0,9531	139
<b>Ala_Idris</b>		0,8889	0,9524	0,9200	126
<b>Buzgulu</b>	0,9614	0,9586	0,9653	0,9619	144
<b>Dimnit</b>		1,0000	0,9542	0,9766	131
<b>Nazli</b>		1,0000	0,9812	0,9905	160
<b>Toplam</b>					700

**Tablo 4.** Önerilen yöntemin diğer yöntemler ile kıyaslaması

Çalışma	Yıl	Yöntem	Öznitelik Sayısı	Kernel	Doğruluk (Acc.)	Özgüllük (Spe.)	Hassasiyet (Pre.)	Anma (Rec.)	F1-Skoru
				Linear	0,9363	0,9840	0,9369	0,9360	0,9362
(Koklu vd., 2022)	2022	ESA + Chi-Square + DVM	1000	Cubic	0,9600	0,9900	0,9606	0,9600	0,9600
				Gaussian	0,9540	0,9885	0,9556	0,9540	0,9541
			250	Linear	0,9460	0,9865	0,9467	0,9460	0,9461
<b>Önerilen Yöntem</b>	?	<b>ESA+ Füzyon+ PCA+ DVM</b>	<b>175</b>	<b>RBF</b>	<b>0,9614</b>	<b>0,9904</b>	<b>0,9608</b>	<b>0,9605</b>	<b>0,9603</b>

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1144615

## SONUÇ

Bu çalışmada 5 farklı asma yaprak çeşidinin belirlenmesi için derin özellik çıkarımı ve makine öğrenmesinden oluşan bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde görüntü sayısının az olması nedeni ile sistemin performansını yükseltmek için veri artırma teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler sonucunda elde edilen 3500 görüntü daha ayrıntılı dokular ve yüksek çözünürlüklü sentetik görüntüler elde edilmesi için ESRGAN modeli ile yeniden yapılandırılmıştır. Önceden eğitilen VGG 19 modeli ile öznetelik çıkarımı yapılmıştır. En anlamlı derin özneteliklerin seçimi için PCA öznetelik seçim algoritması uygulanmıştır. Seçilen öznetelikler ise DVM algoritması ile sınıflandırılmıştır. Asma yaprağı veri seti için %96,14 doğruluk hesaplanmıştır. Önerilen yöntem, literatürde aynı veri seti kullanılarak yapılan çalışmaya göre daha iyi bir başarı göstermiştir. Gelecek çalışmalarda, akıllı tarım uygulamaları için bu yöntemin optimize edilip gömülü sistemler üzerinde gerçek zamanlı olarak çalışabilmesi ve asma yapraklarından oluşan daha kapsamlı bir veri setinin hazırlanarak literature kazandırılması hedeflenmektedir.

## 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

Albumentations, (2022). <https://albumentations.ai/>.

Beikmohammadi A., Faez K. ve Motallebi A. (2022). SWP-LeafNET: A novel multistage approach for plant leaf identification based on deep CNN. *Expert Systems with Applications*, 202, 117470.

Cangi R. ve Yağcı A. (2017). Bağdan sofraya yemeklik asma yaprak üretimi. *Nevşehir Bilim ve Teknolojisi Dergisi*, (6), 137-148.

Carvalho T., De Rezende E., R. Alves M. T., Balieiro F. K. ve Sovat R. B. (2017). Exposing computer generated images by eye's region classification via transfer learning of VGG19 CNN. In 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 866-870.

Doğan G. ve Ergen B. (2021). İMobileNet CNN yaklaşımları ve özellik seçme yöntemleri kullanarak araç türlerini sınıflandırma. Süleyman Demirel

Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi, 25(3), 618-628.

Doğan G. ve Ergen B. (2022). A new mobile convolutional neural network-based approach for pixel-wise road surface crack detection. *Measurement*, (195), 111119.

Ganguly S., Bhowal P., Oliva D. ve Sarkar R. (2022). BLeafNet: A Bonferroni mean operator based fusion of CNN models for plant identification using leaf image classification. *Ecological Informatics*, (69), 101585.

Hu J., Chen Z., Yang M., Zhang R. ve Cui Y. (2018). A multiscale fusion convolutional neural network for plant leaf recognition. *IEEE Signal Processing Letters*, 25(6), 853-857.

Imak A., Celebi A., Siddique K., Turkoglu M., Sengur A. ve Salam I. (2022). Dental Caries Detection Using Score-Based Multi-Input Deep Convolutional Neural Network. *IEEE Access*, (10), 18320-18329.

Koklu M., Unlarsen M. F., Ozkan I. A., Aslan M. F. ve Sabanci K. (2022). A CNN-SVM study based on selected deep features for grapevine leaves classification. *Measurement*, (188), 110425.

Ledig C., Theis L., Huszár F., Caballero J., Cunningham A., Acosta A. ve Shi W. (2017). Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4681-4690.

Lee S. H., Chan C. S., Wilkin P. ve Remagnino P. (2015). Deep-plant: Plant identification with convolutional neural networks. In 2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 452-456.

Loddo A., Loddo M. ve Di Ruberto C. (2021). A novel deep learning based approach for seed image classification and retrieval. *Computers and Electronics in Agriculture*, (187), 106269.

Nkengfack L. C. D., Tchiotso D., Atangana R., Tchinda B. S., Louis-Door V. ve Wolf D. (2021). A comparison study of polynomial-based PCA, KPCA, LDA and GDA feature extraction methods for epileptic and eye states EEG signals detection using kernel machines. *Informatics in Medicine Unlocked*, (26), 100721.

Pearson K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559-572.

Simonyan K. ve Zisserman A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. 3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015, 1-14.

Sun Y., Liu Y., Wang G. ve Zhang H. (2017). Deep learning for plant identification in natural environment. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017.

*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI:10.29132/ijpas.1144615

- Turkoglu M., Aslan M., Arı A., Alçin Z. M. ve Hanbay D. (2021). A multi-division convolutional neural network-based plant identification system. *PeerJ Computer Science*, 7.
- Wang X., Yu K., Wu S., Gu J., Liu Y., Dong C. ve Change Loy C. (2018). Esrgan: Enhanced super-resolution generative adversarial networks. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV) workshops*.

## Determination of Constituents of Extract of *Celtis tournefortii* Lam. by LC-MS/MS, Investigation of Enzyme Inhibition, Antimicrobial and Anticancer Effects

Ayşe Baran<sup>1\*</sup>, Cumali Keskin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mardin Artuklu University, Institute of Science, Mardin, Türkiye

<sup>2</sup>Mardin Artuklu University, Medical Laboratory Techniques, Vocational Higher School of Healthcare Studies, Mardin, Türkiye

\*ayse.gorgec43@gmail.com , ckeskinoo@gmail.com 

Received date:29.08.2022, Accepted date: 27.01.2023

### Abstract

Phytochemicals found in extracts obtained from plants are very important bioactive constituents. In this study, phytochemicals in extract content obtained from *Celtis tournefortii* Lam. tree (CT) leaves were determined by a LC-MS method. The constituents with the major concentrations was found rutin (2479.89 µg ml<sup>-1</sup>), coumarin (1241.68 µg ml<sup>-1</sup>), biochanin A (1026.42 µg ml<sup>-1</sup>), shikimic acid (477.32 µg ml<sup>-1</sup>), chlorogenic acid (300.76 µg ml<sup>-1</sup>). The suppressive effects of CT extract on the growth of pathogenic strains were studied by microdilution method. It was observed that it caused suppression on the strains in the concentration range of 2.00-8.00 µg ml<sup>-1</sup>. The inhibition effects of the extract on acetyl cholinesterase and glutathione-S transferase enzyme activities were investigated, and 50% inhibitory values of enzyme activity were found to be 13.58 and 13.86, respectively. Using the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide assay method, the cell viability suppressive effects of CT leaf extract were studied in healthy skin fibroblast cells as well as ovarian, colon and brain cancer cells. It was observed that they created a 42%, 4.27%, and 14.29% suppression in cells, respectively.

**Keywords:** Anticancer, antimicrobial, *Celtis tuernofortii*, chemical composition, enzyme inhibition

## *Celtis tournefortii* Lam Yaprak Özütünün Bileşenlerinin LC-MS/MS Aracılığıyla Belirlenmesi, Enzim İnhibisyonunun, Antimikrobiyal ve Antikanser Etkilerinin Araştırılması

### Öz

Bitkilerden elde edilen özütlerde bulunan fitokimyasallar çok önemli biyoaktif bileşenlerdir. Bu çalışmada, *Celtis tournefortii* Lam. ağacı (CT) yapraklarından elde edilen özüt içeriğindeki fitokimyasallar LC-MS yöntemi ile belirlendi. Rutin (2479.89 µg ml<sup>-1</sup>), kumarin (1241.68 µg ml<sup>-1</sup>), biyokanin A (1026.42 µg ml<sup>-1</sup>), şikimik asit (477.32 µg ml<sup>-1</sup>) ve klorojenik asit (300.76 µg ml<sup>-1</sup>) bileşenlerinin yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu belirlendi. CT ekstraktının patojen suşların büyümesi üzerinde baskılayıcı etkileri mikrodilüsyon yöntemi ile çalışıldı. 2.00-8.00 µg ml<sup>-1</sup> konsantrasyon aralığında suşlar üzerinde baskılamaya neden olduğu gözlemlendi. Özütün asetil kolinesteraz ve glutatyon-S transferaz enzim aktiviteleri üzerindeki inhibisyon etkileri incelendi ve enzim aktivitesinin %50 inhibitör değerleri sırasıyla 13.58 ve 13.86 olarak bulundu. 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil tetrazol bromür tekniği uygulanarak CT yaprak özütünün hücre canlılığını baskılayıcı etkileri yumurtalık, kolon ve beyin kanseri hücrelerinin yanı sıra sağlıklı cilt fibroblast hücrelerinde çalışıldı. Kanser hücrelerinde sırasıyla %42, %4.27 ve %14.29 oranında baskılama oluşturduğu gözlemlendi.

**Anahtar kelimeler:** Antikanser, Antimikrobiyal, *Celtis tournefortii*.

### INTRODUCTION

Plants have two types of metabolism, primary vital activities, secondary metabolism and the and secondary. While primary metabolism is used for secondary metabolites produced as a result of this



metabolism are also important in the processes used in various stress situations (Płonka et al., 2020). Polyphenols, one of the secondary metabolites produced by plants, are products with very high benefits by playing a role in many biological activities in various living things, especially humans (Engström et al., 2015).

Due to their widespread presence in plants, bioactive substances like polyphenols have a significant role in human diets. (Wang et al., 2015). Plant-derived phenolic constituents that make up the color of many fruits and vegetables are very useful constituents. Potential health benefits include protecting low-density lipoprotein (LDL) from oxidation, preventing various age-related diseases, and antioxidant activity (Tiong et al., 2016). In addition, these phytochemicals have activities such as reducing collagen degradation and anti-aging, protecting from the harmful effects of UV (Nascimento et al., 2021). Various medical applications such as antimicrobial and anticancer have been made by using extracts obtained from different parts of plants (Moldovan et al., 2014; Ishaque et al., 2021; Mohan Reddy et al., 2021; Sinan et al., 2021)

Dementia, often recognized as Alzheimer's disease (AD), is a severe neuron disease that harms brain cells and results in irreversible memory loss. Since there is no treatment for this illness, it claims many lives every year; however, early discovery can lessen the spread of the illness. People over 65 are most likely to develop Alzheimer's disease. It is well recognized that amyloid-(A) peptide buildup in the brain plays a significant role in the pathophysiology of the illness. (Karran and De Strooper, 2022). Efforts to develop drugs that can slow or delay the progression of AD have long been the focus of studies in recent years. AD markedly differs in Acetylcholine (ACh) levels. A decrease is observed in the synthesis of ACh, which is used as a neuromediator (Jaramillo et al., 2022). The main reason for this is the decrease in the amount and function of the synthesized acetylcholine transferase enzyme, decrease in choline reuptake, damage in cholinergic neurons and axons. Retention of acetylcholine for neurotransmission in the synaptic cleft both reduces and prevents Alzheimer's symptoms (Aras et al., 2021).

Glutathione-S transferase (GST) is an enzyme that has important contributions to several mechanisms in the detoxification of xenobiotics in

metabolic processes. In addition, the enzyme plays a role in the biosynthesis of molecules such as testosterone and progesterone and in the degradation of tyrosine (Hayes et al., 2005). Byproducts of endogenous ROS activity and molecules such as exogenous polycyclic aromatic hydrocarbons are electrophilic substrates of GST. This enzyme conjugates a wide variety of electrophilic xenobiotics with reduced glutathione, blocking their activation and removing them from the body (Strange et al., 2001). There are two active sites in the enzyme, the G site and the hydrophobic H site. The hydrophobic H section has a position covering two separate functional positions that can engage several electrophilic substrates, while a G region binds the physiological substrate. (Erat et al., 2008; Çomaklı et al., 2011).

*C. tournefortii* Lam. (CT) is a tree species of about five meters tall, which grows in temperate regions, which is called "Eastern fenugreek, Dardagan or Dagdagan", which is in the Cannabaceae family (Gecibesler, 2019; Yıldırım et al., 2017). There have also been reports of various actions in *Celtis* species, including antioxidant, anticancer, antibacterial, and anti-inflammatory effects, acetylcholinesterase (AChE) inhibitors, and some other properties of its chemical constituents. In studies conducted to evaluate the polyphenol contents for *Celtis* species, it has been shown that chemical ingredients such as alkaloids, coumarins, flavonoids, tannins, terpenoids, coumaroyl tyramines, amide compounds, steroids are present (Keser et al., 2017; Qi et al., 2021; Wang et al., 2022).

In this research, it was aimed to determine enzyme inhibition activities, antimicrobial and anticancer effects, the profile of chemical constituents of the extract obtained from CT leaves by the LC-MS/MS

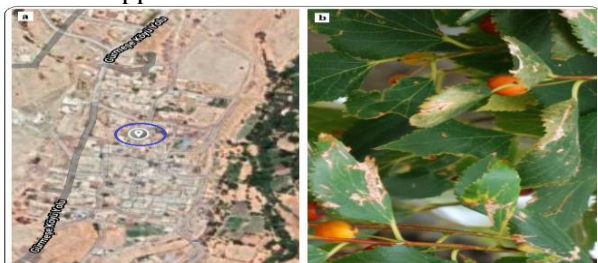
## MATERIAL VE METHOD

### Plant Collection and Leaves Extraction

In the Kızıltepe region of Mardin, plant leaves were gathered at the end of the summer season from the location area shown in figure 1. It was subjected to washing (tap water and distilled water) several times. After washing, plant leaves taken to room conditions were left to dry on blotting paper. The dried plant leaves were ground into powder. To obtain the extract of CT leaves in methanol (MECT), 20 grams of dried leaves and 200 mL of methanol were

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1168200

mixed at room conditions and left for four days at 25 °C and filtered. The filtrate was taken from the methanol by means of a Heidolph 94200 rotary evaporator. The resulting content was stored at -18 °C for use in applications.



**Figure 1.** Belonging to the CT plant; Images of the location (a), and morphological appearance of the area where it grows (b)

### AChE and GST Enzyme Inhibition

The inhibition activity of the extract prepared using CT leaves on the AChE enzyme in the concentration range of 5.00-25.00  $\mu\text{M}$  was examined by UV-visible spectrophotometry (UV-Vis) method (Ellman et al., 1961). The commercial form of AChE (EC 3.1.1.7, Sigma) purified from *Electrophorus electricus* was used as the enzyme source in practice. Acetylcholine iodide (AChI) was used as a substrate in the cholinergic reaction. A Tris/HCl buffer was adjusted to 1.0 M pH 8.0 and extract solutions prepared in the range of 10-30  $\mu\text{g mL}^{-1}$  were transferred to 0.5 mM 50  $\mu\text{L}$  AChE enzyme solution ( $5.32 \times 10^{-3}$ ). The mixture solution was kept at 20 °C for 10 minutes. Then, 5,50-dithio-bis 2-nitro-benzoic acid (DTNB) was added to the mixture and the reaction was started for enzyme activity. AChE activity was measured at a wavelength of 412 nm, enzyme activity evaluations were made using spectrophotometry data, and the  $\text{IC}_{50}$  value was calculated (Ahmed et al., 2006; Behera and Bhatnagar, 2018).

An aromatic electrophile and a glutathione molecule couple through the action of the enzyme GST. The electrophile in the aromatic group, 1-chloro-2,4-dinitrobenzene, is the most often employed substrate for this reaction (CDNB). The dinitrobenzene S-glutathione (DNB-SG) formed as a result of the reaction gives maximum absorbance at UV-vis 340 nm wavelength. The  $\text{IC}_{50}$  value was determined by evaluating the absorbances obtained at UV-vis maximum wavelength by using CDNB in phosphate buffer at room temperature to inhibit the

activation of the GST enzyme by the leaf extract of CT ( Lineweaver and Burk, 1934; Liu et al., 2014; Gülçin et al., 2016).

### Utilizing LC-MS/MS to Determine Phytochemical Constituents

#### Material and reagents

Commercially available items included analytical-grade phenolic standards, ammonium formate, formic acid, methanol, and acetonitrile from Sigma-Aldrich. Millipore's Milli Q pure water gadget was used to prepare the pure water that was used for chromatographic purposes. A captiva premium syringe filter with a nylon membrane, a polypropylene housing, a diameter of 25 mm, and a pore size of 0.45  $\mu\text{m}$  was used to filter all solutions prior to analysis.

#### Mass spectrometry and chromatography conditions

Qualitative evaluation of constituents was performed using High-performance Liquid Chromatography (HPLC) model 1260 Infinity II LC system with integrated tandem mass spectrometry. A degasser, a column furnace and dual pumps were integrated into the reverse phase HPLC device. In order to segregate molecules and overcome suppression effects, chromatographic settings were improved. At 25 °C, chromatographic separation for optimization was carried out using an analytical column with the reversed phase Poroshell 120 EC-C18 type (100 mm x 3.0 mm, 2.7  $\mu\text{m}$ ). The elution gradient, solvent flow rate, and injection volume were adjusted to 0.4 mL  $\text{min}^{-1}$  5  $\mu\text{L}$ , 5 mM ammonium formate in water (selective: A) and 0.1% formic acid in acetonitrile (selective B). The gradient elution profile utilized was as follows:

10% B (0–1 min), 40% B (1–3 min), 70% B (3–5 min), 40% B (5–6 min), and 10 % B (6–8min).

Using an electrospray ionization (ESI) source and scanning of ion changes from the primordial phytochemical to the moiety identified by the MRM technique, phytochemical compounds were specifically detected by LC-ESI-MS/MS.

### Antimicrobial Suppressing Effects of CT Leaf Extract on Hospital Pathogens

Inhibitory effects of CT extract on the growth of hospital pathogens, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (S. aureus), *Bacillus subtilis* ATCC 11774 (B.

subtilis), *Escherichia coli* (E. coli) ATCC25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27833 (*P. aeruginosa*), *Candida albicans* (*C. albicans*) were analyzed using the Micro dilution method (Baran et al., 2021; Baran, 2018; Baran et al., 2021). Minimum Inhibition Concentration (MIC) values affecting these microorganisms were determined by this method. All microorganisms were obtained from Artuklu University Microbiology Research Laboratory, Mardin, Turkey. Microdilution was performed on the microplate wells by starting from the first well with the medium and the CT leaf extract prepared at different concentrations. Some wells were reserved for other control steps of growth. In addition, the suppressive effects of antibiotics on the growth of pathogenic strains were examined with the same method, for comparison purposes. The Antibiotics were used for Vancomycin gram positive *S. aureus* and *B. subtilis* strains, Colistin for gram negative *P. aeruginosa* and *E. coli* strains, as well as Floconazole antibiotics for *C. albicans* fungus. After applying the microdilution method, the microplates were incubated at 37 °C for 24 hours. At the end of the period, reproduction control was performed and MIC was defined.

### Anticancer Effects of CT Leaf Extract on Cancer Cell Lines Suppressing Viability

The cytotoxic effects of the constituents in CT leaves were examined using the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide assay (MTT) method (Aktepe et al., 2021; Atalar et al., 2021; Baran et al., 2021; Baran et al., 2021) in Dicle University Scientific Research Center, Cell Culture Laboratory, Diyarbakır, Turkey. In the experimental study, Colorectal Adenocarcinoma (Caco-2), Glioblastoma (U118), and Human Ovarian sarcoma (Skov-3) lines were used as cancer cell lines. In addition, cytotoxic effects on the Dermal Fibroblast (HDF) healthy cell line were also evaluated. The absorbance spectrum of the cells was examined using Multi Scan Go Thermo with the cells adjusted to a wavelength of 540 nm. By using these absorbances, the concentrations and IC<sub>50</sub> values of CT leaf extract cells that suppressed percent viability were calculated using the equations 1 given below (Awad et al., 2019; Baran et al., 2021).

$$\% \text{viability} = U/C * 100 \quad (1)$$

In equality; U, The absorbance values of the cells after the interaction of the plant extract, and C, is the

absorbance values of the control cells in the absence of the plant extract.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Phytochemical Profile of CT Leaf Extract

When the LC-MS/MS data are examined, the bioactive compounds found in the CT extract content with the highest concentrations are rutin (2479.89 µg mL<sup>-1</sup>), coumarin (1241.68 µg ml mL<sup>-1</sup>), biochanin A (1026.42 µg mL<sup>-1</sup>), shikimic acid (477.32 µg mL<sup>-1</sup>), chlorogenic acid (300.76 µg mL<sup>-1</sup>), vanillic acid (200.77 µg ml mL<sup>-1</sup>), quercetin-3-glucoside (198.68 µg mL<sup>-1</sup>), 4-hydroxy benzoic acid (260.63 µg mL<sup>-1</sup>), salicylic acid (160.18 µg ml<sup>-1</sup>) was found to belong to molecules such as. With these Constituents in high concentration, the LC-MS/MS profile showed that the CT plant extract was also rich in other bioactive compounds (Figures 2 and 3).

It is a medically important bioactive compound with the highest concentration of rutin antitumoral, antidiabetic, antimicrobial, anti-inflammatory effects (Chen et al., 2016). Biochanin A is a bioactive compound from the isoflavone family, which has very positive effects on health such as anticancer activity, cardiovascular defense, antioxidant properties, anti-inflammatory properties (Sundaresan et al., 2018). Cinnamic acid conjugates are commonly found in dicotyledonous plants. Among them, the most studied and known are chlorogenic acids. p-coumaric, ferulic, and caffeic acids are a few examples of the trans-cinnamic acids that form ester linkages with chlorogenic acids (Clifford et al., 2007). Chlorogenic acids have an active role in the regulation and reduction of body weight and on antioxidant mechanisms. However, they are also involved in the suppression of obesity with their effects on lipid metabolism (Chen et al., 2016). Quercimethrin, Quercetin-3-glucoside 110.50 and 198.68 µg ml<sup>-1</sup> were found in the CT leaf extract. Quercetin derivatives, which are among the flavonoids, have a very high therapeutic potential in various diseases such as influenza (Wach et al., 2007; Mighri et al., 2019). In a study using *Plicosepalus acacia*, the phytochemical profile of the extract was examined by LC-MS/MS and the positive effects of Quercetin due to diabetes ischemia was shown (Abdel-hamed et al., 2021). The role of plant-derived Caffeic acids in biological activity is very important. Among these activities, there are effects such as antioxidant, antimutagenic, antitumor, antiobosite

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1168200

(Wang et al., 2015). The amount of transferullic acid of CT extracts was determined as 109.36  $\mu\text{g ml}^{-1}$ .

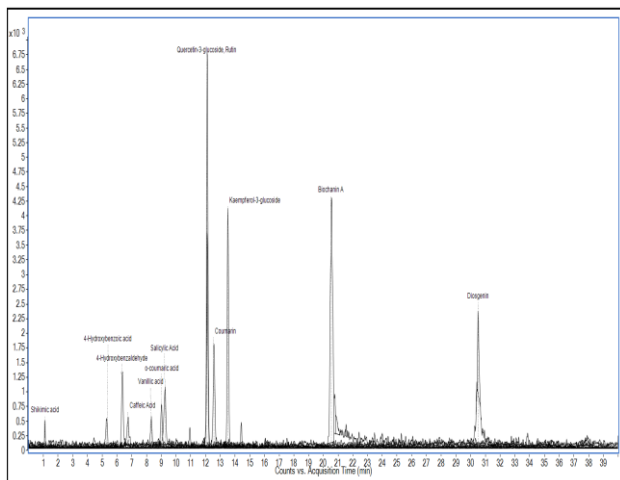


Figure 2. LC-MS/MS chromatogram of CT leaf extract

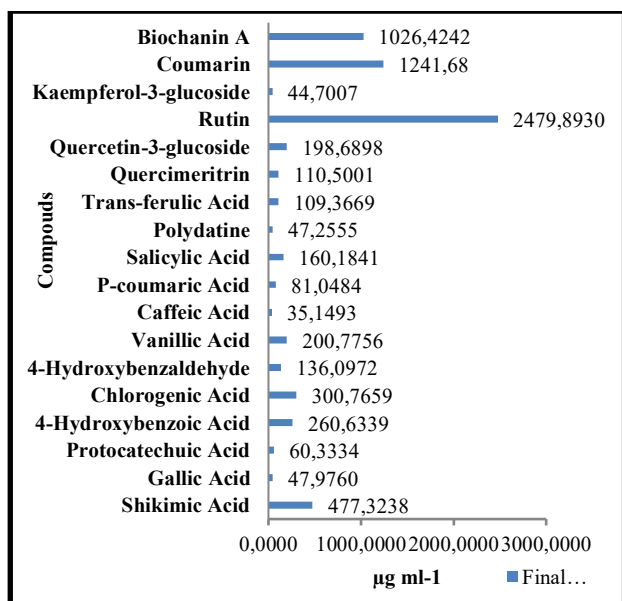


Figure 3. Bioactive compounds and their amounts found in LC-MS/MS profile of CT leaf extract

In a study with plant extracts of *Hibiscus roseus*, the profile of this compound was examined by LC-MS (Wang et al., 2015). *Ephedra alata* extract was found to be  $1406.31 \pm 35.74 \mu\text{g mL}^{-1}$  in LC-MS results (Mighri et al., 2019). It was determined that Protocatechuic acid was in the amount of  $60.33 \mu\text{g mL}^{-1}$  in the compounds of the CT extract. In addition to its suppressive effect on platelet aggregation,

protocatechuic acid also has medicinal effects such as inhibiting apoptosis of human umbilical vein endothelial cells (Li et al., 2017).

### Enzyme Inhibitory Activities of CT Leaf Extract

In enzyme activity studies performed in the range of 5.00-25.00  $\mu\text{M}$  using the extract obtained from CT leaves, it was determined that the concentration range of 20-25  $\mu\text{M}$  suppressed the enzyme activity by 75%-85% (Figure 4a and Table 1). By means of the enzyme activity data obtained in the range of 0.05-25.00  $\mu\text{M}$ , the  $\text{IC}_{50}$  values on the AChE enzyme were calculated as 13.58. These results showed that the bioactive compounds found in high amounts in the plant extract greatly suppressed the AChE enzyme. In Romania, it was reported that the inhibition effect of the phytochemical content on the activity of the AChE enzyme in hydrosol extracts belonging to three species of Lamiaceae family plants was inhibited by 10.65% at  $2.5 \text{ mg mL}^{-1}$ , and 42.48% at  $5 \text{ mg mL}^{-1}$  (Gaspar-pintiliescu et al., 2022).

The inhibition effect of CT extract on GST antioxidant enzyme activity was evaluated by UV-vis measurements in the range of 5.00-25.00  $\mu\text{M}$ . Enzyme activity of 5-10  $\mu\text{M}$  concentration range was detected at a rate of 87-57%. Using the measurements made, the  $\text{IC}_{50}$  values of the Constituents in the CT extract on the GST enzyme were determined as 13.86 (Figure 4 and Table 1). In a study conducted with methanol extracts of three different plant species, it was reported that *Terminalia bellerica* methanol extract had 73.96% and 82.29% GST enzyme activity at 5 and 10  $\text{mg mL}^{-1}$  (Behera and Bhatnagar, 2018). In another study, it was shown that the  $\text{IC}_{50}$  values of phloridzin, baicalin, baicalein, and phloretin flavonoids obtained from natural plant sources on GST were 57.50, 28.75, 769.10, and 99.02, respectively.

### Antimicrobial Effects of CT Extract

The highest concentration at which the CT extract was effective,  $8.00 \mu\text{g mL}^{-1}$ , occurred on *E. coli*. At the lowest concentration,  $2.00 \mu\text{g mL}^{-1}$ , the best effect occurred on the growth of *P. aeruginosa* bacteria. (Table 1, Figure 5). It is thought that the bioactive constituents with high concentration in the CT extract play a role in the antimicrobial effect (Chen et al., 2016; Santas et al., 2010).



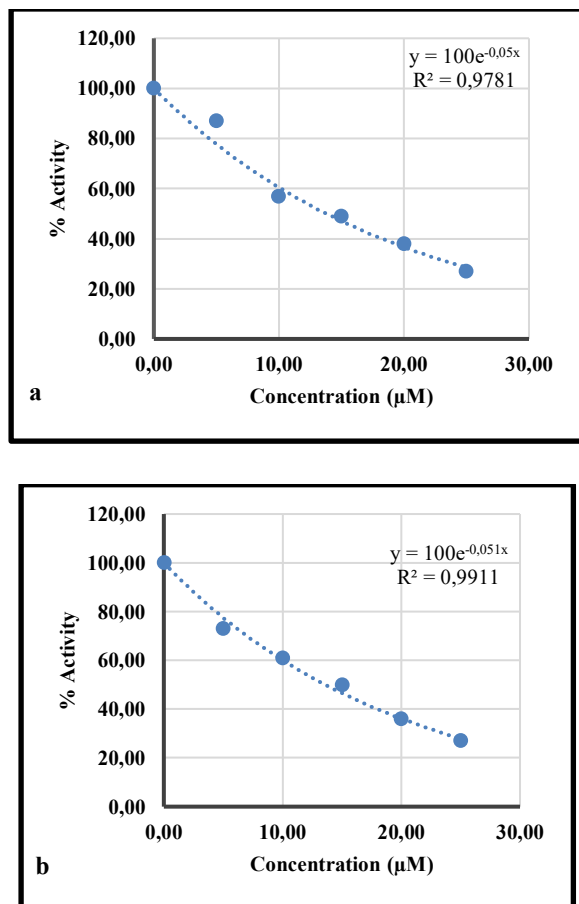


Figure 4. CT leaf extract; Inhibitory effect on AChE (a), and GST (b) enzyme activities

Table 1. IC<sub>50</sub> values of CT leaves extract due to inhibition of AChE and GST enzyme activities

Compounds	AChE		GST	
	IC <sub>50</sub>	R <sup>2</sup>	IC <sub>50</sub>	R <sup>2</sup>
CT leaves Extracts	13.58	0.9821	13.86	0.991

In the antimicrobial activity study conducted with *Gardenia latifolia* methanolic fruit extract, the MIC values effective on pathogenic strains *S. aureus*, *B. subtilis*, *E. coli*, and *P. aeruginosa* were 31.25 µg µL<sup>-1</sup>, 31.25 µg µL<sup>-1</sup>, 62.5 µg µL<sup>-1</sup>, and 15.62 µg µL<sup>-1</sup>, respectively. (Mohan Reddy et al., 2021). In another study, it was reported that *Pseudocedrela kotschy* extract was effective on *S. aureus*, *E. coli*, and *P.*

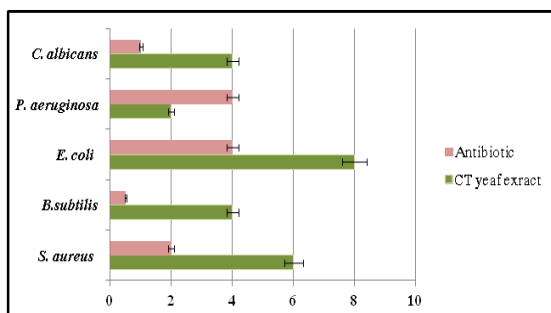
*aeruginosa* with MIC values of 0.3-0.7 mg ml<sup>-1</sup> (Sinan et al., 2021). In addition to these, it has been stated that *Juglans regia* extract has an antifungal effect on *Candida* species in the concentration range of 137.50-275.00 µg mL<sup>-1</sup> (D’angeli et al., 2021).

In studies conducted to examine the phytochemical compounds of plant extracts, it is thought that some molecules may play a role in the antimicrobial effect (antibacterial, antifungal, etc.). Because extracts are constituents rich in proanthocyanidins, which provide antimicrobial effect, and other molecules that will provide this effect (Rauf et al., 2019). The bioactive constituents in the plant extracts show suppressive activity by increasing the level of ROS in microorganisms, inhibiting biofilm, stimulating the apoptotic mechanism, interfering with the synthesis of important molecules such as chitin, glucan, glucosamine, ergosterol, proteins. In addition, the bioactive constituents in the extract also activate antimicrobial action mechanisms such as deterioration in the structure and functions of cell membranes, inhibition of enzymes such as DNA gyrase and protein kinase, dehydratase, and type III secretion inactivation (Rempe et al., 2017; Silva et al., 2021).

Table 2. MIC values of CT leaves extract and antibiotics used to suppress the growth of microorganisms have antimicrobial effects

TESTED ORGANISM	CT Leaves Extract	Antibiotic µg mL <sup>-1</sup>
	µg mL <sup>-1</sup>	
<i>S. aureus</i>	6.00	2.00
<i>B. subtilis</i>	4.00	0.50
<i>E. coli</i>	8.00	4.00
<i>P. aeruginosa</i>	2.00	4.00
<i>C. albicans</i>	4.00	1.00





**Figure 5.** MIC values of CT leaf extract and antibiotics on the growth of microorganisms

### Effects of CT Leaves Extract on Cancer and Healthy Cells

The effects of bioactive constituents in CT leaf extract on healthy cells and cancer cells were examined using the MTT method. It was determined that phytochemicals in high concentrations in the extract had a proliferative effect in healthy cells. However, the same dose of  $250 \text{ g mL}^{-1}$  extract had a proliferative effect on CaCo-2 cells while suppressing the viability of U87 and Skov-3 cancer cells by 18.41% and 37.09%, respectively. In the application where the extract concentration was  $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ , the viability of Skov-3, CaCo-2, and U87 cells was suppressed by 42.11%, 4.27%, and 14.26%, respectively. The  $\text{IC}_{50}$  values of HDF, Skov-3, U87, and CaCo-2 cells of the constituents contained in the leaf were determined as 196.23, 246.91, 213.76, and 349.65. According to a study, phenolic chemicals in *Rhus trilobata* extract to increase the level of ROS on skov-3 cells, which reduces cell viability. (Muthukumar et al., 2013). It was stated that after incubation of *Juglans regia* (L.) extract on CaCo-2 cells for 48 and 72 hours, viability was suppressed by 40-50% (D'angeli et al., 2021). In another study, it was reported that a mixture of plant extracts of five different species suppressed viability by 50% at a concentration of  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$  on U87 cells (Omoruyi et al., 2021).

Bioactive compounds prevent proliferation, invasion, adhesion, tube formation in cancer cells. In addition to these, it has antiproliferative effects such as suppressing the metabolism of neoplastic transformation and chemical carcinogenesis by negatively affecting the DNA molecule (Aissani et al., 2021; Lu et al., 2010; Muthukumar et al., 2013; Stefanowicz-Hajduk et al., 2021).

### CONCLUSION

Plant extracts are rich sources of bioactive content such as natural polyphenols. These compounds have many beneficial effects. The components with the highest concentration found in the polyphenol content in the LC-MS/MS profile of the extract obtained from CT leaves, rutin, coumarin, biochanin A, shikimic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, quercetin-3-glucoside, 4-hydroxybenzoic acid, salicylic acid, 4-hydroxy benzaldehyde, and quarsimethrin were determined. By using the microdilution method, it was found that the MIC values of the extract's constituent parts on the development of pathogen strains ranged from 2.00 to  $8.00 \text{ g mL}^{-1}$ . The  $\text{IC}_{50}$  values of the polyphenol content in the extract were determined to be 13.58 and 13.86 on AChE and GST enzyme activities. The suppressive effects of Skov-3, CaCo-2, and U87 cancer cells on the proliferation of healthy skin fibroblast cells were investigated by the MTT method. It was observed that the bioactive compounds of CT leaf extract were suppressive in cancer cells while promoting proliferation in healthy cells.

Bioactive compounds in plant extracts can be purified and their use in medicine can be studied in detail. Considering the positive effects of each component in pharmacology, it will contribute greatly to future studies.

### ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the thesis study conducted at Mardin Artuklu University, Graduate Education Institute, and the BAP.022.LEE.037. project.

### 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

- Abdel-hamed, A. R., Mehanna, E. T., Hazem, R. M., Badr, J. M., Abo-elmatty, D. M., Abdel-kader, M. S. and Goda, M. S. (2021). *Plicosepalus acacia* extract and its major constituents, methyl gallate and quercetin,

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1168200

- potentiate therapeutic angiogenesis in diabetic hind limb ischemia: Hptlc quantification and lc-ms/ms metabolic profiling. *Antioxidants*, 10 (11), 1–24.
- Ahmed, M., Rocha, J. B. T., Corrêa, M., Mazzanti, C. M., Zanin, R. F., Morsch, A. L. B., Morsch, V. M. and Schetinger, M. R. C. (2006). Inhibition of two different cholinesterases by tacrine. *Chemico-Biological Interactions*, 162 (2), 165–171.
- Aissani, N., Albouchi, F. and Sebai, H. (2021). Anticancer Effect in Human Glioblastoma and Antioxidant Activity of *Petroselinum crispum* L. Methanol Extract. *Nutrition and Cancer*, 73 (11–12), 2605–2613.
- Aras, A., Türkan, F., Yildiko, U., Atalar, M. N., Kılıç, Ö., Alma, M. H. and Bursal, E. (2021). Biochemical Constituent, Enzyme Inhibitory Activity, And Molecular Docking Analysis Of An Endemic Plant Species, *Thymus migricus*. *Chemical Papers*, 75 (3), 1133–1146.
- Atalar, M. N., Baran, A., Baran, M. F., Keskin, C., Aktepe, N., Yavuz, Ö. and İrtegun Kandemir, S. (2021). Economic Fast Synthesis of Olive Leaf Extract And Silver Nanoparticles And Biomedical Applications. *Particulate Science and Technology*, 2021 1–9.
- Awad, M., Eisa, N., Virk, P., Hendi, A., Ortashi, K., Mahgoub, A. A. and Elobeid, Mai, Eissa, F. (2019). Green Synthesis of Gold Nanoparticles: Preparation, Characterization, Cytotoxicity, And Anti-Bacterial Activities. *Materials Letters*, 256 126608.
- Baran, MF., Keskin, C., Atalar, M. N. and Baran, A. (2021). Environmentally Friendly Rapid Synthesis of Gold Nanoparticles from *Artemisia absinthium* Plant Extract and Application of Antimicrobial Activities. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11 (1), 365–375.
- Baran., M. F. (2018). Green Synthesis Of Silver Nanoparticles (AgNps) Using *Pistacia terebinthus* Leaf: Antimicrobial Effect And Characterization. *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 2 (2018), 67–75.
- Baran, A., Baran, M. F., Keskin, C., Kandemir, S. I., Valiyeva, M., Mehraliyeva, S., Khalilov, R. and Eftekhari, A. (2021). Ecofriendly/Rapid Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Waste Parts of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) and Evaluation of their Cytotoxic and Antibacterial Activities. *Journal of Nanomaterials*, 2021 1–10.
- Baran, A., Keskin, C., Baran, M. F., Huseynova, I., Khalilov, R., Eftekhari, A., Irtegun-Kandemir, S. and Kavak, D. E. (2021). Ecofriendly Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Ananas comosus* Fruit Peels: Anticancer and Antimicrobial Activities. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2021 .
- Behera, D. R. and Bhatnagar, S. (2018). Assessment of macrofilaricidal activity of leaf extracts of *Terminalia* sp. against bovine filarial parasite *Setaria cervi*. *Journal of Infection and Public Health*, 11 (5), 643–647.
- Chen, C. C., Agrawal, D. C., Lee, M. R., Lee, R. J., Kuo, C. L., Wu, C. R., Tsay, H. S. and Chang, H. C. (2016). Influence of LED Light Spectra On *in vitro* Somatic Embryogenesis and LC-MS Analysis of Chlorogenic Acid and Rutin in *Peucedanum Japonicum* Thunb.: A Medicinal Herb. *Botanical Studies*, 57 (9), 1–8.
- Clifford, M. N., Wu, W., Kirkpatrick, J. and Kuhnert, N. (2007). Profiling the chlorogenic acids and other caffeic acid derivatives of herbal chrysanthemum by LC-MSn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (3), 929–936.
- Çomaklı, Veysel, Mehmet, Çiftçi, Ömer İrfan, K. (2011). Purification of Glutathione S-Transferase Enzyme from Rainbow Trout Erythrocytes and Examination of the Effects of Certain Antibiotics on Enzyme Activity Gökkuşluğu Alabalık Eritrositlerinden Glutatyon. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 39 (4), 413–419.
- D'angeli, F., Malfa, G. A., Garozzo, A., Volti, G. L., Genovese, C., Stivala, A., Nicolosi, D., Attanasio, F., Bellia, F., Ronsisvalle, S. and Acquaviva, R. (2021). Antimicrobial, Antioxidant, And Cytotoxic Activities of *Juglans regia* L. Pellicle extract. *Antibiotics*, 10 (2), 1–17.
- Ellman, G. L., Courtney, K. D., Andres, V. and Featherstone, R. M. (1961). A New and Rapid Colorimetric Determination of Acetylcholinesterase Activity. *Biochemical Pharmacology*, 7 (2), 88–95.
- Engström, M. T., Päljjarvi, M. and Salminen, J. P. (2015). Rapid Fingerprint Analysis of Plant Extracts For Ellagitannins, Gallic Acid, And Quinic Acid Derivatives and Quercetin-, Kaempferol- And Myricetin-Based Flavonol Glycosides By UPLC-QqQ-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (16), 4068–4079.
- Erat, M., Guvercin, S. and Sakiroglu, H. (2008). Determination of Some Kinetic and Characteristic Properties of Glutathione S-transferase from Bovine Erythrocytes. *Protein & Peptide Letters*, 15 (1), 6–12.
- Gaspar-pintiliescu, A., Mihai, E., Ciucan, T., Florina, A., Luntraru, C., Tomescu, J., Craciunescu, O., Mihai, E., Ciucan, T., Gaspar-pintiliescu, A., Mihai, E., Ciucan, T., Popescu, F., Luntraru, C., Mihai, E. and Popescu, A. F. (2022). Antioxidant And Acetylcholinesterase Inhibition Capacity of Hyrosols from Lamiaceae Plants For Biopesticide Use: Role of Phenolics. *International Journal of Food Properties*, 25 (1), 996–1008.
- Gecibesler, I. H. (2019). Antioxidant Activity and Phenolic Profile of Turkish *Celtis tournefortii*. *Chemistry of Natural Compounds*, 55 (4), 738–742.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1168200

- Gülçin, İ., Scozzafava, A., Supuran, C. T., Koksal, Z., Turkan, F., Çetinkaya, S., Bingöl, Z., Huyut, Z. and Alwasel, S. H. (2016). Rosmarinic Acid Inhibits Some Metabolic Enzymes Including Glutathione S-Transferase, Lactoperoxidase, Acetylcholinesterase, Butyrylcholinesterase and Carbonic Anhydrase Isoenzymes. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31 (6), 1698–1702.
- Hayes, J. D., Flanagan, J. U. and Jowsey, I. R. (2005). Glutathione Transferases. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 45 51–88.
- Ishaque, S., Arshad, A., Haider, M. and Fatima, F. (2021). *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 1–9.
- Jaramillo, D., Calva, J., Bec, N., Larroque, C., Vidari, G. and Armijos, C. (2022). Chemical Characterization and Biological Activity of the Essential Oil from *Araucaria brasiliensis* Collected in Ecuador. *Molecules*, 27 (12), 3793.
- Karran, E. and De Strooper, B. (2022). The Amyloid Hypothesis in Alzheimer Disease: New Insights From New Therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*, 21 (4), 306–318.
- Keser, S., Keser, F., Kaygili, O., Tekin, S., Turkoglu, I., Demir, E., Turkoglu, S., Karatepe, M., Sandal, S. and Kirbag, S. (2017). Phytochemical Compounds and Biological Activities of *Celtis tournefortii* Fruits . *Analytical Chemistry Letters*, 7 (3), 344–355.
- Li, W., Zhou, H., Chu, Y., Wang, X., Luo, R., Yang, L., Polachi, N., Li, X., Chen, M., Huang, L., Yan, X., Guo, Z. and Sun, H. (2017). Simultaneous Determination And Pharmacokinetics Of Danshensu, Protocatechuic Aldehyde, 4-Hydroxy-3-Methoxyphenyl Lactic Acid and Protocatechuic Acid in Human Plasma By LC–MS/MS After Oral Administration of Compound Danshen Dripping Pills. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 145 860–864.
- Lineweaver, H. and Burk, D. (1934). The Determination of Enzyme Dissociation Constants. *Journal of the American Chemical Society*, 56 (3), 658–666.
- Liu, J., Yang, X. and Zhang, Y. (2014). Characterization of A Lambda-Cyhalothrin Metabolizing Glutathione S-Transferase Cpgstd1 From *Cydia pomonella* (L.). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98 (21), 8947–8962.
- Lu, Y., Jiang, F., Jiang, H., Wu, K., Zheng, X., Cai, Y., Katakowski, M., Chopp, M. and To, S. S. T. (2010). Gallic Acid Suppresses Cell Viability, Proliferation, Invasion and Angiogenesis in Human Glioma Cells. *European Journal of Pharmacology*, 641 (2–3), 102–107.
- Mighri, H., Akrouf, A., Bennour, N., Eljeni, H., Zammouri, T. and Neffati, M. (2019). LC/MS Method Development for The Determination of The Phenolic Compounds of Tunisian *Ephedra alata* Hydro-Methanolic Extract and its Fractions and Evaluation of Their Antioxidant Activities. *South African Journal of Botany*, 124 102–110.
- Mohan Reddy, Y., Jeevan Kumar, S. P., Saritha, K. V., Gopal, P., Madhusudana Reddy, T. and Simal-Gandara, J. (2021). Phytochemical Profiling of Methanolic Fruit Extract Of *Gardenia latifolia* Ait. By Lc-MS/MS Analysis And Evaluation of its Antioxidant And Antimicrobial Activity. *Plants*, 10 (3), 1–10.
- Moldovan, R. I., Oprean, R., Benedec, D., Hanganu, D., Duma, M., Oniga, I. and Vlase, L. (2014). LC-MS Analysis, Antioxidant and Antimicrobial Activities For Five Species of *Mentha* Cultivated in Romania. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9 (2), 559–566.
- Muthukumar, J., Srinivasan, S., Venkatesan, R. S., Ramachandran, V. and Muruganathan, U. (2013). Syringic Acid, A Novel Natural Phenolic Acid, Normalizes Hyperglycemia With Special Reference to Glycoprotein Components in Experimental Diabetic Rats. *Journal Of Acute Disease*, 2 (4), 304–309.
- Nascimento, L. B. D. S., Gori, A., Raffaelli, A., Ferrini, F. and Brunetti, C. (2021). Phenolic Compounds from Leaves and Flowers Of *Hibiscus roseus*: Potential Skin Cosmetic Applications Of An Under-Invigated Species. *Plants*, 10 (3), 1–16.
- Necmettin A., Baran, A., Atalar, M. N., Baran, M. F., Düz, M. Z., Yavuz, Ö., İrtegün Kandemir, S., Kavak, D.E. (2021). Biosynthesis of Black Mulberry Leaf Extract and Silver NanoParticles (AgNPs): Characterization, Antimicrobial and Cytotoxic Activity Applications. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8 (8), 685–700.
- Omoruyi, S. I., Kangwa, T. S., Ibrakaw, A. S., Cupido, C. N., Marnewick, J. L., Ekpo, O. E. and Hussein, A. A. (2021). Cytotoxic Activities of Selected Plants Of The Family Amaryllidaceae On Brain Tumour Cell Lines. *South African Journal of Botany*, 136 118–125.
- Płonka, J., Górný, A., Kokoszka, K. and Barchanska, H. (2020). Metabolic Profiles in The Course of The Shikimic Acid Pathway Of *Raphanus sativus* var. *longipinnatus* Exposed to Mesotrione and its Degradation Products. *Chemosphere*, 245 125616.
- Qi, Z., Fang, X., Xie, Y., Wang, L., Zhang, Y. and Zhao, L. (2021). Bioassay-guided Isolation of Anti-inflammatory Constituents from *Celtis sinensis* Leaves. *Journal of Food Biochemistry*, 45 (1), 1–11.
- Rauf, A., Imran, M., Abu-Izneid, T., Iahtisham-Ul-Haq, Patel, S., Pan, X., Naz, S., Sanches Silva, A., Saeed,

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1168200

- F. and Rasul Suleria, H. A. (2019). Proanthocyanidins: A Comprehensive Review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 116 108999.
- Rempe, C. S., Burris, K. P., Lenaghan, S. C. and Stewart, C. N. (2017). The Potential of Systems Biology to Discover Antibacterial Mechanisms Of Plant Phenolics. *Frontiers in Microbiology*, 8 (MAR), 422.
- Santas, J., Almajano, M. P. and Carbó, R. (2010). Antimicrobial And Antioxidant Activity Of Crude Onion (*Allium cepa* L.) Extracts. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 (2), 403–409.
- Silva, A., Silva, V., Igrejas, G., Gaivão, I., Aires, A., Klibi, N., Dapkevicius, M. de L. E., Valentão, P., Falco, V. and Poeta, P. (2021). Valorization of Winemaking By-Products As A Novel Source of Antibacterial Properties: New Strategies to Fight Antibiotic Resistance. *Molecules*, 26 (8), 1–19.
- Sinan, K. I., Dall’acqua, S., Ferrarese, I., Mollica, A., Stefanucci, A., Glamočlija, J., Sokovic, M., Nenadić, M., Aktumsek, A. and Zengin, G. (2021). LC-MS Based Analysis and Biological Properties of *Pseudocedrela Kotschyi* (Schweinf.) Harms Extracts: A Valuable Source of Antioxidant, Antifungal, And Antibacterial Compounds. *Antioxidants*, 10 (10), 1–21.
- Stefanowicz-Hajduk, J., Król-Kogus, B., Spżak-Stefanowska, B., Kimel, K., Ochocka, J. R. and Krauze-Baranowska, M. (2021). Cytotoxic Activity of Standardized Extracts, A Fraction, And Individual Secondary Metabolites from *Fenugreek* Seeds Against SKOV-3, Hela and MOLT-4 Cell Lines. *Pharmaceutical Biology*, 59 (1), 424–437.
- Strange, R. C., Spiteri, M. A., Ramachandran, S. and Fryer, A. A. (2001). Glutathione-S-Transferase Family of Enzymes. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 482 (1–2), 21–26.
- Sundaresan, A., Radhiga, T. and Deivasigamani, B. (2018). Biological Activity of Biochanin A: A Review. *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 4 (1), 1–5.
- Tiong, S. H., Looi, C. Y., Arya, A., Wong, W. F., Hazni, H., Mustafa, M. R., Awang, K., Strains, T., Cockerels, B., Centre, P., Ottawa, A. C., Wor, U. S., Gupta, V., Mittal, P., Education, T., Arao, T., Oleszek, W., Stochmal, A., Kiran, C., Rullkötter, J. (2016). LC/MS/MS Characterization of Phenolic Constituents in Dried Plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6 (1), 1–10.
- Wach, A., Pyrzyńska, K. and Biesaga, M. (2007). Quercetin Content in Some Food and Herbal Samples. *Food Chemistry*, 100 (2), 699–704.
- Wang, X., Li, W., Ma, X., Chu, Y., Li, S., Guo, J., Jia, Y., Zhou, S., Zhu, Y. and Liu, C. (2015). Simultaneous Determination of Caffeic Acid and its Major Pharmacologically Active Metabolites in Rat Plasma by LC-MS/MS and its Application in Pharmacokinetic Study. *Biomedical Chromatography*, 29 (4), 552–559.
- Yıldırım, I., Uğur, Y. and Kutlu, T. (2017). Investigation of Antioxidant Activity and Phytochemical Compositions of *Celtis tournefortii*. *Free Radicals and Antioxidants*, 7 (2), 160–165.





## Storage Stability of Seed Oils Extracted form Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Waste by a Green Approach

Ayşe Burcu Atalay<sup>1\*</sup>, Ahmet Levent İnanç<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Iğdır University, Vocational School of Iğdır, Department of Hotel Restaurant and Catering Services, Cookery Program, Iğdır, Türkiye,

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Food Engineering, Iğdır, Türkiye

\*aburcu.atalay@igdir.edu.tr , linanc@ksu.edu.tr 

Received date:23.08.2022, Accepted date: 30.01.2023

### Abstract

The present study is aimed to examine and compare the storage stability of seed oils extracted from red pepper (*Capsicum annuum* L.) waste by green techniques (cold pressing, ethanol solvent, and ultrasound-assisted ethanol solvent extraction). In accordance with this purpose, the oil samples were stored for a period of 6 weeks at 60°C under accelerated conditions and analyzed at weekly intervals for peroxide, conjugated diene-triene values to follow their oxidation stability. It was observed that the peroxide, oxidative induction time, conjugated diene, and triene values of seed oils were significantly influenced by the extraction processes ( $p < 0.05$ ). The initial peroxide (9.83 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> oil), conjugated diene (8.63), and triene (3.36) values were higher in the oil extracted with ultrasound-assisted ethanol solvent extraction technique. At the end of accelerated oxidation conditions, the peroxide, conjugated diene, and triene values were ranked in the following order: ethanol solvent extraction (10 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, 7.31, and 3.76), ultrasound-assisted ethanol solvent extraction (12.50 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, 8.87, and 4.02), and cold press (28.50 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, 16.14, and 3.70). However, the seed oil exhibited a high value of oxidative induction time in the oil extracted with ethanol solvent technique (30.11 min). The results revealed that despite inherent anti-oxidative properties, red pepper seed oils can undergo some degree of auto-oxidation, which is dependent on the extraction method during storage. The best quality was preserved by the ethanol solvent extraction technique both in the first and the sixth week of storage.

**Keywords:** By-food product, green extraction, oil, red pepper seed, storage stability

## Yeşil Bir Yaklaşımla Kırmızı Biber (*Capsicum annuum* L.) Atıklarından Elde Edilen Çekirdek Yağlarının Depolama Kararlılığı

### Öz

Bu çalışmanın amacı, kırmızı biber (*Capsicum annuum* L.) atıklarından yeşil tekniklerle (soğuk presleme, etanol-solvent ve ultrases destekli solvent ekstraksiyonu) ekstrakte edilen çekirdek yağlarının depolama stabilitesini incelemek ve karşılaştırmaktır. Bu amaca uygun olarak, yağ numuneleri 6 hafta süreyle 60°C'de hızlandırılmış oksidasyon koşullarında depolanmış ve yağların oksidasyon kararlılıklarını takip etmek için peroksit, konjuge dien-trien değerleri haftalık aralıklarla analiz edilmiştir. Tohum yağlarının peroksit, oksidatif indüksiyon süresi, konjuge dien ve trien değerlerinin ekstraksiyon işlemlerinden önemli ölçüde etkilendiği gözlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Başlangıç peroksit (9.83 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> yağ), konjuge dien (8.63) ve trien (3.36) değerleri, ultrason destekli etanol solvent ekstraksiyon tekniği ile ekstrakte edilen yağda daha yüksek bulunmuştur. Hızlandırılmış oksidasyon koşullarının sonunda, peroksit, konjuge dien ve trien değerleri sırasıyla: etanol solvent ekstraksiyonu (10 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, 7.31 ve 3.76), ultrason destekli etanol solvent ekstraksiyonu (12.50 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, 8.87 ve 4.02) ve soğuk pres (28.50 meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, 16.14 ve 3.70) olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, tohum yağı, etanol-solvent tekniği ile ekstrakte edilen yağda (30.11 dakika) yüksek bir oksidatif indüksiyon süresi değeri sergilemiştir. Sonuçlar, doğal antioksidatif özelliklerine rağmen, kırmızı biber tohumu yağlarının, depolama sırasında ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak bir dereceye kadar oto-oksidasyona maruz kalabileceğini ortaya koymuştur. En iyi kalite, depolamanın hem birinci hem de altıncı haftasında etanol solvent ekstraksiyon tekniği ile korunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Atık ürün, depolama stabilitesi, kırmızıbiber çekirdeği, yağ, yeşil ekstraksiyon



## INTRODUCTION

Oxidation of polyunsaturated fatty acids is the main reaction affecting oil quality and health during the storage period (Micić et al., 2015). In addition to the ratio of unsaturated fatty acids, the presence of oxygen, the number of minor components that have antioxidant and prooxidant effects, light, metal contamination, temperature, humidity, storage conditions, and oil extraction methods are the main factors that cause the initiation of lipid oxidation (Kayahan, 2003). As a result of the oxidation destruction mechanism that occurs in oils such as thermal oxidation, polymerization, and hydrolysis, the shelf life and nutritional value of the oils are reduced, and also, they gain toxic properties (Akçar, 2009). However, fat-soluble vitamins are destroyed, unsaturated fatty acids are reduced, so the biological, chemical, nutritional, color, texture, and sensory quality of the oil are adversely affected (Labuza, 1971). To overcome a major problem such as lipid oxidation, there is a need to develop new preservatives that will provide better oxidative stability of edible oils (Yang et al., 2010). At this point, antioxidants, which are defined as compounds that prevent or delay oxidative degradation in foods, are of great importance (Lee et al., 2010). Due to the undesirable effects of synthetic antioxidants on human health, interest in natural antioxidants is increasing (Cordeiro et al., 2012).

Vegetable oils, which are obtained from oilseeds, lead to many applications as a new, alternative and inexpensive source of natural antioxidants with their bioactive content (Silva et al., 2013). Red pepper seed oil produced from industrial by-products is of great importance in terms of one of these vegetable oils. In recent years, research and innovation projects under Horizon 2020 framework program include the main topics about plant products and by-products (Baenas et al., 2019). And at the same time, the storage stability and shelf life of edible oils has always been a topic of considerable interest to nutritionists, food manufacturers and consumers due to their impact on food quality and safety. For these reasons, red pepper seed oil remains among the popular topics of researches. Red pepper seed oil is rich in unsaturated fatty acids with 68-78% linoleic acid and 7-15% oleic acid content, and is mainly palmitic acid (11-14%), and stearic acid (3-4%), including saturated fatty acids (El-Adawy and Taha, 2001; Perez-Galvez et al., 1999). It has a strong

antioxidant mechanism with alpha-tocopherol and capsaicin contents (Yang et al., 2010). Present studies have indicated that the red pepper seed oil is also rich in carotenoids especially capsanthin, lutein, and beta-carotene (Konçsek et al., 2018). *Capsicum* compounds have an important role in reducing the oxidation of active substances by their antioxidant properties (Baenas et al., 2019).

Besides their own antioxidant content, the methods of oilseed extraction are also an important factor affecting the quality, quantity, and stability of the oil (Ozkan et al., 2010; Evren and Tekgüler, 2011). With appropriate extraction methods and applied conditions, seed oils with long shelf life can be obtained by ensuring that other bioactive components such as antioxidants and tocopherols in the seeds are transferred to the oil at the maximum rate. Solvent extraction that is most commonly used with hexane as a solvent is among the traditional extraction methods, but in recent years, effective methods such as cold pressing and ultrasound-assisted solvent extraction methods have been used to produce edible oils (Yetim and Kesmen, 2009). These pressing and ultrasonic applications stand out as a key technology in achieving the goal of sustainable “green extraction” (Dedebaş et al., 2021). “Green extraction” offers some potential to minimize or eliminate the toxic effects of organic solvents, and with a better quality to extract bioactive lipid-soluble compounds (Ramadan, 2020). Cold-pressed oils have an interest due to their more polar phenolic compounds and natural antioxidants (Uluata, 2016). In addition, ultrasound-assisted extraction is one of the modern, green, economically, non-thermally effective techniques used to obtain bioactive oils and are preferred to modern techniques (Chemat et al., 2017). In recent years, consumers have preferred reliable, economical, and environmentally friendly products in terms of food safety, and for this reason, products are tried to be produced with a green approach (Farr and Proctor, 2014; Siger et al., 2015).

Although there are very few studies on red pepper seed oil so far, it is seen that solvent extraction (Soxhlet) and cold pressing methods, which are traditional, are mostly used. The results obtained from these studies contributed to the characterization of red pepper seed oil. In addition, in recent years, modern techniques such as pressure-assisted, supercritical fluid-CO<sub>2</sub>, microwave-assisted, and ultrasound-

assisted solvent extraction have been used to obtain red pepper seed oil, but these studies have been limited to the physicochemical, bioactive, and antioxidative properties of the oils (Chouaibi et al., 2019; Ma et al., 2019). No studies have been found on the production of red pepper seed oils by green extraction methods without using toxic organic solvents and the effectiveness of extraction methods on the oxidative stability of seed oils during storage.

The aim of the study was to investigate the storage stability of seed oils extracted from red pepper (*Capsicum annuum* L.) waste by cold-press, conventional solvent, and ultrasound-assisted solvent method with a green approach. The chemical quality of the oils was also determined by the peroxide, oxidative induction time, conjugated diene, and triene values.

## MATERIAL AND METHODS

### Materials

Red pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds as an industrial food waste were provided by MÜSAN Food Co. Ltd. (Kahramanmaraş, Turkey). The seeds were the post-production seeds of red pepper fruits that were harvested in the 2015 August-October harvest season for spicy red pepper products. The seeds were dried under the sun (moisture content  $\leq$  6%) within that season. The seeds were ground into a powder with an average particle size of 500  $\mu\text{m}$  by an electrical grinder (model Scm 2934; Sinbo, İstanbul, Turkey). All reagents were provided by Merck (Darmstadt, Almanyaya) and Sigma-Aldrich (St.Louis, ABD) and of the analytical grade.

### Method

#### Ultrasound-assisted solvent extraction (UAE)

An ultrasound bath, Jeitech UC-10 brand with 40 kHz ultrasound frequency and max.300 W ultrasound power (10 liter capacity ultrasonic tank, acoustic energy density of 0.026 W  $\text{cm}^{-3}$ ), was used for UAE. Dimensions of 10 L (40 kHz 300 W) volume capacity ultrasound tank were 295×240×160 mm. The seed powder was exposed to high intensity ultrasonic effect at a fixed sample: solvent ratio (1/10, weight/volume), at 40°C and for 40 min. The bath temperature was maintained constant at 40 °C (measured with a thermocouple) during treatment using cool-packs. Ethanol was selected as a green alternative solvent to hexane. The supernatants obtained after the treatment were filtered to obtain an

ethanol-containing extract phase. The supernatants were filtered and ethanol in the extract phase was volatilized by a rotary evaporator (Hei-VAP Value model, Heidolph, Germany) under vacuum at 40°C. Extraction conditions were determined by pre-extraction studies.

#### Solvent extraction (SE)

The solvent extraction was the non-ultrasound-assisted conventional solvent extraction. SE was performed with the same ultrasound bath Jeitech UC-10 brand without using ultrasonic vibrations. The extraction conditions were carried out by the same method used in the UAE procedure.

#### Cold press (CP)

Red pepper seed oil was obtained using a cold-pressing machine (model:6YL-68, Henan Double Elephants Machinery I/E Co., Ltd., China) (single head, 5.5 kW power, 50 kg seed/h capacity). It is ensured that the oil outlet temperature of the device does not exceed 40°C. After the cold-pressing process, the extracted seed oil was passed through a cloth filter and then the lipid fraction was centrifugated to purify from solid particles.

#### Storage in accelerated oxidation conditions

Oil samples produced by three different methods were stored in amber bottles at 60°C for 6 weeks in an oven (Samples were taken into different bottles for each storage period). In this process, samples were taken at the beginning of storage and for 6 weeks at 7-day intervals, and peroxide value (AOCS, 1984), conjugated diene, and triene determinations (AOCS, 1989) were performed.

#### Analyses

##### Oil yield (%)

Oil extraction yields were calculated according to Equation (1).

$$\text{oil yield \%} = \frac{[\text{weight of oil (g)}]}{[\text{weight of seed (g)}]} \times 100 \quad (1)$$

##### Peroxide value

The peroxide value expressed as milliequivalent gram oxygen ( $\text{meqO}_2\text{kg}^{-1}$ ) in 1 kg oil was determined using the Cd 8-53 method of AOCS (AOCS, 1984).

##### Conjugated diene and triene values

Conjugated diene and triene values were determined according to AOCS Ch5-91. Conjugated diene ( $K_{232}$ ) and triene ( $K_{270}$ ) values are determined by weighing certain amounts of oil samples (1%, w/v) and dissolving them in 10 ml hexane. By using UV-1800 Shimadzu UV / VIS spectrometer, the absorbance values at 232 nm and 270 nm are measured in 1 g oil at a concentration of 100 ml<sup>-1</sup> (AOCS, 1989).

Determination of oxidative induction time ( $T_0$ ):

Oxidative stabilities of oil samples were determined by differential scanning calorimetry (DSC 4000, Perkin Elmer). Oil samples were weighed at 15±1 mg and put into sample aluminum containers (Perkin Elmer; 40 µl). The reference container was used as empty. The heat flow and temperature calibration of the DSC device were made for the use of standard indium.

In order to determine the oxidative stability of the oil samples, analyzes were made using the isothermal method by DSC device. The isothermal temperature was programmed to 130°C and measurements were made by waiting until the end of the oxidation period in 20 mL min<sup>-1</sup> oxygen gas (99.9%) flow under atmospheric pressure. Oxidative induction time was determined using the method defined by Tan et al. (2002). The induction time of the oxidative reaction is closely related to the intersection of the exotherm's (leading) tangent line and the extrapolated base.

#### Statistical analysis

The results were given as the mean ± standard error. Statistical significance was admitted at a level of  $p < 0.05$ . The data were statistically analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA). Duncan test was used to compare means (SPSS v.23, IBM, USA).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Oil Yield (%)

The yields of seed oils extracted from red pepper (*Capsicum annuum* L.) waste by green techniques were ranked in the following order: ethanol solvent extraction (14.50%), ultrasound-assisted ethanol solvent extraction (16.80%), and cold press (11.32%). Higher oil yield was obtained with ultrasound application from red pepper seeds compared to other extraction procedures. Ultrasonic application mechanically breaks down the cell walls, which is the

main obstacle in oil extraction by pressing from oil seeds. This ensures easy transfer of oil out of the cell and supports the increase in oil yield (Atalay, 2019; Ergün et al., 2013).

### Oxidative Induction Time ( $T_0$ ) of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seed Oils

The average oxidative induction time values of red pepper seed oils are presented in Figure 1.

The rate of lipid oxidation reactions increases after a specific phase, defined as the induction period that is an indicator of oxidative stability (Kayahan, 2003). Induction period has a relationship with oxidative stability. The oxidative stability and shelf-life of the oil increase as the induction time increases (Kowalski et al., 2004). The oxidation induction times of the samples were calculated at a constant temperature of 130°C by DSC. DSC induction time measurements are significantly affected by different extraction techniques ( $p < 0.05$ ). At 130°C, the SE (30.11 min) method showed higher oxidative stability than the CP (24.71 min) and UAE (11.79 min) methods. The oil sample obtained by the UAE method exhibited the lowest induction time due to having the highest peroxide value at the beginning of the extraction. This shows that the oil obtained by the SE method is thermally more stable than the oils obtained by other methods. The high oxidative stability of the oil obtained by the SE method may be due to its higher amount of tocopherol and phenolic components and the low content of unsaturated fatty acids (Atalay and Inanc, 2023). Also, Gbogouri et al., (2013) reported that the differences in thermostability of oils may be due to their initial chemical characteristics (fatty acid composition, peroxide values, etc.).

When we compare the induction times of red pepper seed oils with the studies of Tan et al. (2002) investigating the induction times of different edible oils, it is seen that red pepper seed oils have good oxidative stability. Although the DSC ( $T_0$ ) value of red pepper seed oil produced by SE (30.11 min) is higher than olive (21.99 min), safflower (18.19 min) and grape seed (17.60 min) oils; sunflower (33.34 min), and soybean oils (33.70 min) were found to be almost the same values. Micic et al. (2015) examined the oxidative stability of blackberry and raspberry seed oils, and it is seen that red pepper seed oils have lower oxidative stability than these seed oils. There is no study on DSC-measured  $T_0$  values for red pepper

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1165960

seed oils. So, this study contributed to the literature with  $T_0$  values of red pepper seed oils for comparison.

#### Storage under Accelerated Oxidation Conditions

The oxidative stability of red pepper seed oils extracted by different techniques was discussed by following the peroxide and conjugated diene-triene values in the storage period under accelerated oxidation conditions.

#### Change in peroxide values during storage

The influence of extraction methods during storage on PV in the red pepper seed oil samples is shown in Fig. 2.

Oxidation of vegetable oils is the main deterioration reaction that reduces shelf life and causes quality loss during storage. Peroxide value, one of the most widely used methods in determining oxidative rancidity in oils, is the measurement of the amount of the peroxides and hydroperoxides formed in the initial phase of oxidation (Zhang et al., 2010). The degree of oxidation of oil samples was determined by PV at the beginning and during storage at 60°C for 6 weeks. The initial peroxide value of seed oils range from 6.67 to 9.83 meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>oil. The peroxide value of UAE extracted oil was significantly higher than those of other oil tested ( $p < 0.05$ ). It is thought that as the ultrasound intensity increases, the formation of primary oxidation products (peroxide and conjugated dienes) also increases and causes a rapid increase in the primary oxidation of oils.

When the data obtained as a result of storage were evaluated, it was seen that the peroxide values were found as CP, UAE, SE, respectively, starting from the highest. By comparison of seed oil groups extracted by green processes, statistically significant differences, as measured by peroxide value, were observed during accelerated storage for each week ( $p < 0.05$ ). In the comparison of weeks in the same method, the interaction was very significant ( $p < 0.001$ ).

It was observed that the peroxide value of the oil obtained by the cold press method increased linearly during storage and reached its highest value (28.50 meqO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>) at the end of the 6th week of storage. Increases in peroxide value may occur due to the formation of primary oxidation products as a result of lipid oxidation and these causes to loss of quality of oil (Chong et al., 2015). During storage, peroxide values for the UAE and SE extraction

methods were lower than the CP method. The fact that the oil obtained by the CP method has higher peroxide values and lower antioxidant activity compared to other oils is attributed to be related to its initial low content of phenolic and tocopherol components (Atalay and Inanc, 2023). Also, the peroxide value may have reached high values due to uneven pressure application and temperature increase in cold pressing. In addition to these, it was observed that the peroxide values analyzed by the UAE method during the storage were partially higher than the peroxide values obtained in the SE method. This might be due to the cavitation effect, i.e. micro-mechanical shocks that influence structural and functional compounds up to the point of lipid oxidation and deterioration during the ultrasound procedure (Chemat et al., 2004). Interestingly, it was observed that the analyzed peroxide values of oils produced by UAE and SE methods under high-temperature storage conditions were in accordance with the standards specified for edible vegetable oils and did not exceed 15 meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> (Alimentarius, 2003).

Uluata (2016) followed the lipid oxidation of apricot kernel oils produced by cold press and solvent extraction methods and reported that peroxide values reached higher values than the current study during storage. The results of all oxidation tests similarly showed that apricot seed oils produced by the SE method are more oxidatively stable than the CP method. The fluctuations (increase-decrease) in peroxide values during thermal oxidation were in agreement with those obtained by Kıralan and Kıralan (2017). On the other hand, they reported that higher peroxide values for cold-pressed sunflower oil were analyzed. Halim and Thoo (2018) examined the effect of ultrasound application on the oxidative stability of sunflower and palm oil and reported that peroxide values of oils were lower without ultrasound application. The results were in agreement with those obtained by Halim ve Thoo (2018). There is no study on the storage stability of red pepper seed oils. So, this study contributed to the literature with peroxide, the conjugated diene, and triene values during storage of red pepper seed oils for comparison.

Change in conjugated diene-triene values during storage. The influence of extraction methods during storage on conjugated diene and triene values in the red pepper seed oil samples is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

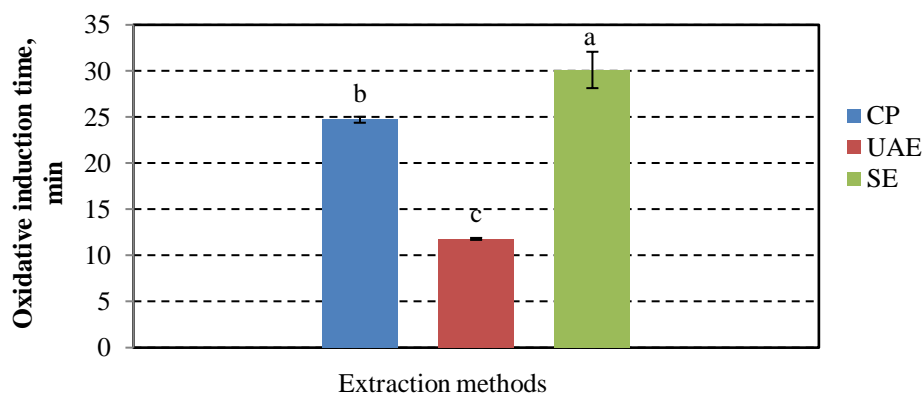


Similar to the peroxide value, the conjugated diene value is also an indicator of the primary oxidation products formed by lipid oxidation (Bouaziz et al., 2008). Hydroperoxides, which are the first degradation products, constitute the conjugated diene values at 232 nm, and the products formed as a result of the breakdown of hydroperoxides constitute the triene values of the oil at 270 nm (Karakuş, 2008). The two most commonly used methods to determine the shelf life of vegetable oils are the determination of peroxide value and conjugated diene-triene values.

The initial conjugated diene value of seed oils range from 7.07 to 8.63. The conjugated diene value of UAE extracted oil was significantly higher than those of other oils tested at the beginning of storage. Nevertheless, the value of the oil extracted with CP is higher when we consider the entire storage. When the conjugated diene values were evaluated for oils produced by different methods at every stage of the storage process, it was seen that the values were different from each other from the first week and the difference between the methods was important ( $p < 0.05$ ).

The initial conjugated triene value of seed oils range from 1.92 to 3.36. The conjugated triene value of UAE extracted oil was also significantly higher than those of other oils tested at the beginning and during of storage. When the variation of each

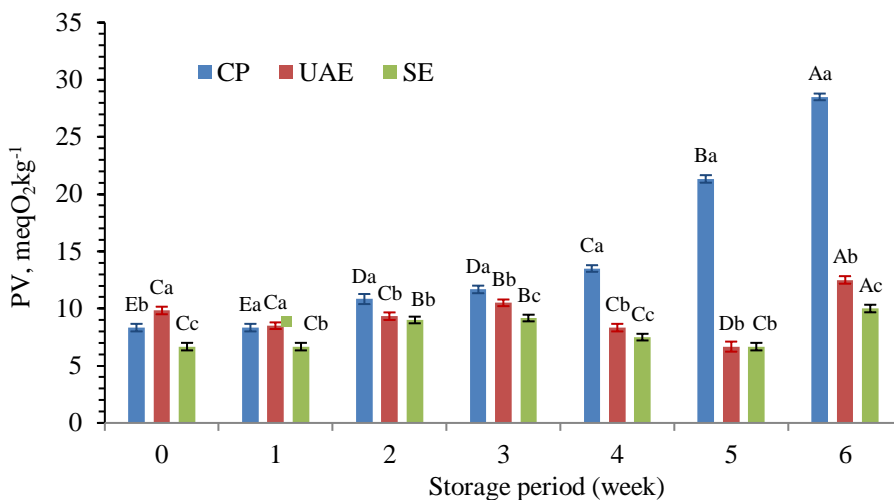
method according to the weeks was analyzed, the interaction was very important in both conjugated diene-triene values ( $p < 0.001$ ). Conjugated diene values ( $K_{232}$ ) increased for all samples generally due to the formation of conjugated dienes and polyenes during storage. The values of the oils obtained with CP were higher than the others. During the storage period, a partial decrease was observed in the values for all oils in the first week's measurements. It is thought that this decrease may be due to the conversion of most of the dienes to polymer components with the increase occurring during storage. Similarly, fluctuations (increase-decrease) were observed in conjugated triene ( $K_{270}$ ) values during storage. Although conjugated triene values were the highest in UDSE, it was observed that the values were close to each other in SE and SP methods. Increases and decreases in conjugated triene values of all oils were slower. For all methods, it was found that the data obtained for conjugated diene and triene at the end of storage had the highest values. It was observed that the conjugated diene values for all oil samples were higher than the triene values. Also, the attitude (increase-decrease) of conjugated diene and triene values was parallel to the peroxide values (Hosseini et al., 2015).



The values indicated with the same superscripts do not statistically differ ( $p > 0.05$ ). (Extraction methods 'a-c')

**Figure 1.** The oxidative induction time of red pepper seed oils

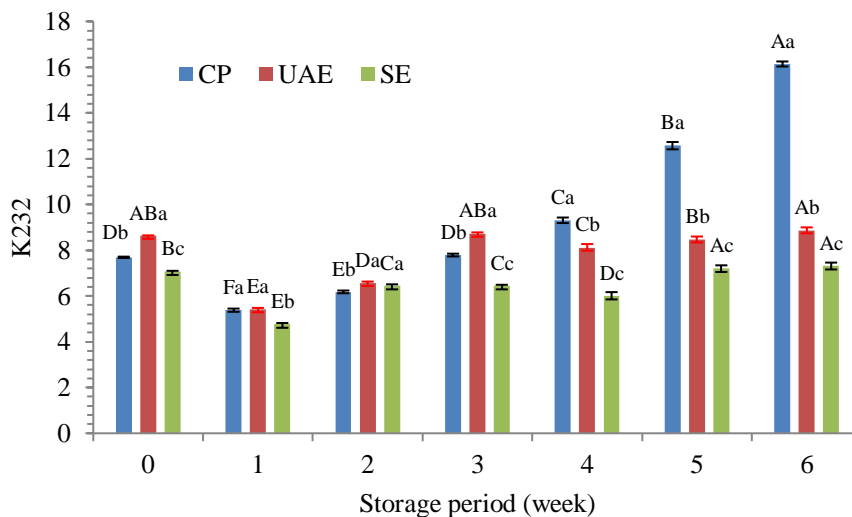




CP: Cold pressing, UAE: Ultrasound-assisted solvent extraction and SE: Solvent extraction

There is no statistical difference between the values shown with the same letters ( $p > 0.05$ ), (Differences among the methods "a-c" series during each storage period, differences of methods according to storage time "A-E" series)

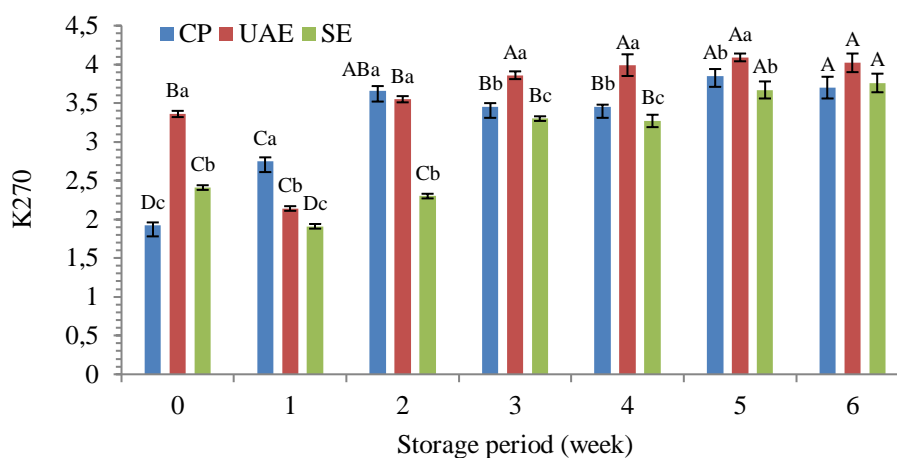
**Figure 2.** Change in peroxide values of red pepper seed oils during storage



CP: Cold pressing, UAE: Ultrasound-assisted solvent extraction and SE: Solvent extraction

There is no statistical difference between the values shown with the same letters ( $p > 0.05$ ), (Differences among the methods "a-c" series during each storage period, differences of methods according to storage time "A-E" series)

**Figure 3.** Changes in conjugated diene (K<sub>232</sub>) values during storage



CP: Cold pressing, UAE: Ultrasound-assisted solvent extraction and SE: Solvent extraction

There is no statistical difference between the values shown with the same letters ( $p > 0.05$ ), (Differences among the methods "a-c" series during each storage period, differences of methods according to storage time "A-E" series)

**Figure 4.** Changes in conjugated triene ( $K_{270}$ ) values during storage

Low levels of conjugated diene and triene allow oils to show higher oxidative stability (Chatha et al., 2006). Tocopherols maintain the quality during storage because of their natural antioxidants role and thereby reduce the formation of bad odor-aroma and rancidity (Moradi et al., 2018). It is also known that its phenolic components have a protective effect against fat oxidation by inhibiting the formation of conjugated diene-triene and lipid hydroperoxides (Bouaziz ve ark., 2008). In the studies of Kıralan and Kıralan (2017), during the thermal oxidation of cold-pressed sunflower oil and the photooxidation process under light, the attitude of  $K_{232}$  values during storage was consistent with the result obtained in this study. However, it was seen that the values reached were higher than the values obtained in this study.

Since there is no storage study on red pepper seed oil under accelerated oxidation conditions, it is very difficult to compare the results with the studies made with other materials. Because of antioxidant activity; It may vary depending on factors such as different extraction techniques applied, extraction conditions, the presence of bioactive components that can show pro-oxidant or synergist activity, and the activities of these components in the system where they are located (Kamal-Eldin ve Appelqvist 1996).

## CONCLUSION

The results showed that there was a significant difference in quality and oxidative stability between the studied red pepper seed oils due to the different green extraction methods applied. Generally, the effect of the cold-pressing and ultrasound application exceeded that of the others to influence the peroxide value and conjugated diene-triene values. Oils produced by solvent extractions under accelerated oxidation conditions preserved their quality in the best way and showed high storage stability compared to other oils. Consequently, it is necessary to evaluate the changes in the oxidative stability mechanisms and quality values of seed oils extracted by different techniques along their shelf life. The initial quality (chemical characteristics and natural antioxidants) of seed oils is also important for storage stability. However, if there is the formation of secondary oxidation products in storage conditions, it is necessary to analyze them and the change of antioxidant agent contents such as phenolic substances, tocopherol, capsaicin and carotenoid should also be monitored to have more enlightening information about oxidative stability of seed oils. Additionally, researches on the elimination of toxic solvents used and the usage of green technologies for oilseed extraction should be increased. Oils should be produced in reliable, economical, and environmentally friendly ways in terms of food

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1165960

safety. Many analyzes were carried out for the first time for red pepper seeds and a contribution was made to literature research. It is recommended to continue studies on the storage of red pepper seed oil, to develop methods, and to apply them to the industry.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was funded by BAP office of Kahramanmaraş Sutcu Imam University (2016/3-51 D).

#### CONFLICT OF INTEREST

The Authors report no conflict of interest relevant to this article

#### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

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

#### REFERENCES




- Akçar, H. H. (2009). Çeşnili Zeytinyağlarının Oksidasyon Kinetiğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. p. 201.
- Alimentarius, C. (2003). Codex standard for named vegetable oils. Codex Stan 210.
- AOCS. (1984). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, Determination of Peroxide value, AOCS Official Method. Cd 8-53, AOCS Press.
- AOCS. (1989). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, Determination of Specific Extension of Oils and Method. Ch 5-91, AOCS Press.
- Atalay, A. B., (2019). Maraş biberi çekirdeğinden farklı yöntemlerle yağ üretimi ve kalite özellikleri. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.Maraş, p. 48-49.
- Atalay, A. B. and Inanc, A. L. (2023). The Applications of Green Extraction: Production and Quality Characterization of Seed Oils Extracted From Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Waste. Journal of Agriculture and Nature, Accepted: 31.01.2022.
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Morenoc, D. A. and García-Viguerac, C. (2019). Industrial Use of Pepper (*Capsicum annum* L.) Derived Products: Technological Benefits and Biological Advantages. Food Chemistry, 274, 872-885.
- Bouaziz, M., Fki, I., Jemai, H., Ayadi, M., and Sayadi, S. (2008). Effect of Storage on Refined and Husk Olive Oils Composition: Stabilization by Addition of Natural Antioxidants form Chemlali Olive Leaves. Food Chemistry, 108 (1), 253-262.
- Chatha, S. A. S., Anwar, F., Manzoor, M., Bajwa, J.R. (2006). Evaluation of the Antioxidant Activity of Rice Bran Extracts Using Different Antioxidant Assays. Grasas Y Aceites, 57, 328-335.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A-S., and Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound-Assisted Extraction of Food and Natural Products. Mechanisms, Techniques, Combinations, Protocols, and Applications. Ultrasonics Sonochemistry, (34), 540-560.
- Chong, Y. M., Chang, S. K., Sia, W. C. M., Yim, H. S. (2015). Antioxidant Efficacy of Mangosteen (*Garcinia Mangostana* Linn.) Peel Extracts in Sunflower Oil During Accelerated Storage. Food Bioscience, 12, 18-25.
- Chouaibia, M., Rezig, L., Hamdic, S., Ferraria, G. (2019). Chemical Characteristics and Compositions of Red Pepper Seed Oils Extracted by Different Methods. Industrial Crops and Products, 128, 363-370.
- Cordeiro, A. M. T. M., Medeiros, M. L., Santos, N. A., Soledade, L. E. B., Pontes, L. F. B. L., Souza, A. L. and Souza, A. G. (2012). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract. Journal of Thermal Analysis Calorimetry, 113 (2), 889-895.
- Dedebaş, T., Dursun Çapar T., Ekici, L. and Yalçın, H. (2021). Yağlı Tohumlarda Ultrasonik-destekli Ekstraksiyon Yöntemi ve Avantajları. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 313-322.
- El-Adawy, T. A. and Taha, K. M. (2001). Characteristics and Composition of Watermelon, Pumpkin, and Paprika Seed Oils and Flours. J. Agric. Food Chemistry, 49, 1253-1259.
- Ergün, A. R., Baysal, T. and Bozkır, H., (2013). Ultrases Yöntemi ile Karatenoitlerin Ekstraksiyonu. Gıda, 38 (4) : 239-246.
- Evren, M. and Tekgüler, B. (2011). Uçucu yağların antimikrobiyel özellikleri. Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR (Eski adı: OrLab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi, 9 (3), 28-40.
- Farr, W. E. and Proctor, A. (2014). Green Vegetable Oil Processing: Revised First Edition. AOCS Press, Urbana, IL., USA, 302 p.
- Gbogouri, G. A., Brou, K., Beugre, G. A. M., Gnakri, D. and Linder, M. (2013). Assessment of the Thermo-Oxidation of Three Cucurbit Seed Oils by Differential Scanning Calorimetry. Innovative Romanian Food Biotechnology, 12, 32-39.
- Halim, H. H. and Thoo, Y. Y. (2018). Effect of Ultrasound Treatment on Oxidative Stability of Sunflower Oil and Palm Oil. International Food Research Journal, 25 (5), 1959-1967.
- Hosseini, S., Gharachorloo, M., Tarzi, B. G., Ghavami, M. and Bakhoda, H. (2015). Effects of Ultrasound

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1165960

- Amplitude on the Physicochemical Properties of Some Edible Oils. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92 (11-12), 1717-1724.
- Kamal-Eldin, A. and Appelqvist, L.Å. (1996). The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids*, 31, 671-701.
- Karakuş, M. (2008). Bazı Zeytin Çeşitlerinden Elde Edilen Yağların Oksidasyon Stabilitelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. s.50.
- Kayahan, M. (2003). Yağ Kimyası, Bölüm 1 Lipitlerin Kimyasal Yapısı. ODTÜ Geliştirme Vakfı, Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları, Ankara. s.220.
- Kıralan, S. S. and Kıralan, M. (2017). Soğuk Pres Ayçiçeği Yağının Farklı Depolama Koşullarındaki Oksidatif Stabilitesi. *Akademik Gıda*, 15 (2), 155-162.
- Koncsek, A., Helyes, L. and Daood, H. G. (2018). Bioactive Compounds of Cold Pressed Spice Paprika Seeds Oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-9.
- Kowalski, B., Ratusz, K., Kowalska, D. and Bekas, W. (2004). Determination of the Oxidative Stability of Vegetable Oils by Differential Scanning Calorimetry and Rancimat Measurements. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 165-169.
- Labuza, T. P. (1971). Kinetics of Lipid Oxidation in Foods, *CRC Critical Reviews in Food Technology*, 10 (2), 355-594.
- Lee, Ok-Hwan and Lee, Boo-Yong. (2010). Antioxidant and Antimicrobial Activities of Individual and Combined Phenolics in *Olea Europaea* Leaf Extract. *Bioresource Technology*, 101, 3751-3754.
- Ma, Y., Wua, X., Zhao, L., Wang, Y. and Liao, X. (2019). Comparison of the Compounds and Characteristics of Pepper Seed Oil by Pressure-Assisted, Ultrasound-Assisted, and Conventional Solvent Extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54, 78-86.
- Micic, D. M., Ostojic, S. B., Simonovic, M. B., Krstic, G., Pezo, L. L. and Simonovic, B. R. (2015). Kinetics of Blackberry and Raspberry Seed Oils Oxidation by DSC. *Thermochimica Acta*, 601, 39-44.
- Moradi, N., Rahimi, M., Moeini, A. and Parsamoghdam, M. A. (2018). Impact of ultrasound on Oil Yield and Content of Functional Food Ingredients at the Oil Extraction from Sunflower. *Separation Science and Technology*, 53 (2), 261-276.
- Ozkan, G., Baydar, H. and Erbas, S. (2010). The influence of harvest time on essential oil composition, phenolic constituents and antioxidant properties of Turkish oregano (*Origanum onites* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90 (2), 205-209.
- Pérez-Gálvez, A., Garrido-Fernández, J., Mínguez-Mosquera, M. I., Lozano-Ruiz, M. and Montero-de-Espinosa, V. (1999). Fatty Acid Composition of Two New Pepper Varieties (*Capsicum annuum* L. cv. Jaranda and Jariza): Effect of Drying Process and Nutritional Aspects. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76 (2), 205-208.
- Ramadan, M. F. (2020). Introduction to cold-pressed oils: Green technology, bioactive compounds, functionality, and applications. In books: Cold pressed oils, Chapter 1, 1-5.
- Siger, A., Kaczmarek, A. and Rudzińska, M. (2015). Antioxidant Activity and Phytochemical Content of Cold-Pressed Rapeseed Oil Obtained from Roasted Seeds. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117 (8), 1225-1237.
- Silva, L. R., Azevedo, J., Pereira, M. J., Valentão, P. and Andrade, P. B. (2013). Chemical Assessment and Antioxidant Capacity of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seeds. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 240-248.
- Tan, C. P., Che Man, Y. B., Selamat, J. and Yusoff, M. S. A. (2002). Comparative Studies of Oxidative Stability of Edible Oils by Differential Scanning Calorimetry and Oxidative Stability Index Methods. *Food Chemistry*, 76, 385-389.
- Uluata, S. (2016). Effect of Extraction Method on Biochemical Properties and Oxidative Stability of Apricot Seed Oil. *Akademik Gıda*, 14 (4), 333-340.
- Yang, C. Y., Mandal, P. K., Han, K. H., Fukushima, M., Choi, K., Kim, C.J. and Lee, C.H. (2010). Capsaicin and Tocopherol in Red Pepper Seed Oil Enhance the Thermal Oxidative Stability During Frying. *Journal of Food Science and Technology*, 47 (2), 162-165.
- Yetim, H. and Kesmen, Z. (2009). In: *Gıda Analizleri*. Erciyes Üniversitesi Yayınları No: 163. Erciyes Üniversitesi Matbaası, Kayseri, 346 s.
- Zhang, Y., Yang, L., Zu, Y., Chen, X., Wang, F. and Liu, F. (2010). Oxidative Stability of Sunflower Oil Supplemented with Carnosic Acid Compared with Synthetic Antioxidants During Accelerated Storage. *Food Chemistry*, 118, 656-662.

## Analitik Ağ Süreci, TOPSIS ve PROMETHEE Yöntemleri ile Fiziksel Engelliler için Aktif Tekerlekli Sandalye Seçimi

Mehmet Tan, Emre Yazıcı, Hacı Mehmet Alakaş\*

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye  
tanmehmet66@outlook.com , emreyazici92@hotmail.com , \*hmalagas@gmail.com   
Makale gönderme tarihi: 30.09.2022, Makale kabul tarihi:22.03.2023

### Öz

Tekerlekli sandalye, fiziksel engelliler için günlük yaşamın vazgeçilmez unsurlardan birisidir. Tekerlekli sandalyeler dünya çapında kullanım amaçlarına göre birçok firma tarafından üretilmektedir. Çeşitliliğin çok olduğu bu sektörde, engelli bireyler için doğru sandalye seçimi engellilerin hem hayat kaliteleri hem de sağlıkları açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmamızın amacı, fiziksel engellilere, kendileri için en uygun tekerlekli sandalyeyi önerebilmektir. Araştırmamızda, beş adet tekerlekli sandalye üreticisinin ürettiği aktif tekerlekli sandalyeler için 18 adet kriter eşliğinde çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) ile değerlendirilme yapılmıştır. Bu yöntemler, Analitik Ağ Süreci (AAS), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ve The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)'dir. Çalışmada uzman görüşleri sonucunda, tekerlekli sandalye seçiminde nihai sıralamalar elde edilmiştir. Tekerlekli sandalye kullanıcısı fiziksel engelli bireyler için en uygun tekerlekli sandalye seçilerek hayat standartlarının yükseldiği ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Engellilik, fiziksel aktivite, manual tekerlekli sandalye, çok kriterli karar verme

## Active Wheelchair Selection for the Physical Disabled with Analytical Network Process, TOPSIS and PROMETHEE Methods

### Abstract

Wheelchair is one of the indispensable elements of daily life for the physically disabled. Wheelchairs are produced by many companies around the world according to their intended use. This protection, where there is a lot of diversity, and the selection of the right chair for the disabled are important in terms of both their quality of life and their health. For this reason, the aim of our study is to suggest the most suitable wheelchair for the physically handicapped. In our research, active wheelchairs created by five wheelchair manufacturers were handled with multi-criteria decision making methods (MCDM) accompanied by 18 criteria. These methods are Analytical Network Process (ANP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE). As a result of expert opinions in the study, final rankings were obtained in wheelchair selection. It has been demonstrated that the most suitable wheelchair for wheelchair users and physically disabled individuals has been selected and their living standards have increased.

**Keywords:** Disability, physical activity, manual wheelchair, multi criteria decision making.

### GİRİŞ

Tekerlekli sandalye, fiziksel engelliler için günlük yaşamın vazgeçilmez unsurlardan birisidir. Fiziksel engelli bireyler hayatlarının önemli bir kısmını tekerlekli sandalye üzerinde geçirmekte ve birçok günlük aktiviteyi tekerlekli sandalye vasıtasıyla gerçekleştirmektedirler. Bu nedenle fiziksel engelliler için tekerlekli sandalyeler hayati önem taşıyan araçlardır.

Tekerlekli sandalye kullanıcısı olan fiziksel engelliler birçok sorun ile karşılaşabilmektedir. Ulaşım, sosyal yaşamda mekânların erişilebilirliği ve kişisel hayatın sürdürülebilmesinde çeşitli sorunlar yaşamaktadır.

Tekerlekli sandalye üzerinde hayatının çok büyük bir bölümünü geçirmekte olan engellilerin, tekerlekli sandalye seçimindeki tercihi doğru bir



şekilde yapması hayatlarını daha kolay bir şekilde sürdürmeleri için oldukça önemlidir. Bireylerin kendi fiziksel yapılarına, yaşadıkları fiziksel ortamlara ve çevredeki çeşitli unsurlara göre uygun tekerlekli sandalye seçimi fiziksel engelliler için önemli bir karar problemidir. Uygun tekerlekli sandalye seçiminin yapılmaması halinde başta kas-iskelet sistemine yönelik olarak omuz ve kas ağrıları, yere düşmeler, kalça ve sırt yaraları, kas ve kan dolaşımı bozuklukları gibi çeşitli problemler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle ergonomik açıdan ve her bir fiziksel engellinin özel ihtiyaçlarını karşılayacak tekerlekli sandalye seçiminin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda başta ekonomik ve teknik olmak üzere çeşitli kriterler dikkate alınarak alternatifler değerlendirilmelidir.

Tekerlekli sandalyenin uygunluğu; tekerlekli sandalye kullanıcısının kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmesi, vücuda uyum ve destek sağlaması, çevresel koşullara uygun, güvenli, uzun ömürlü, hafif, sağlam, ekonomik ve tekerlekli sandalye ile kolay manevra yapılabilmesidir. Ayrıca tekerlekli sandalyeler, tekerlekli sandalye kullanıcılarının mümkün mertebede çok sayıda etkinliğe katılmalarını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bir tekerlekli sandalyenin, tekerlekli sandalye kullanıcısının fiziksel gereksinimlerini karşılayacak şekilde ayarlanması veya kişiselleştirmesi olanağı, tekerlekli sandalyenin türüne ve tasarımına bağlı olarak değişmektedir. Tekerlekli sandalye üreticileri, bu gereksinimlere uygun olarak tekerlekli sandalye tasarımı ve üretimi gerçekleştirmektedir.

Bu kapsamda ele alınan çalışmada bir fiziksel engelli bireyin tekerlekli sandalye seçim problemi incelenmiştir. Fiziksel engellilerin tekerlekli sandalye tercihinde birden fazla alternatifin ve değerlendirme kriterlerinin çeşitlenmesi nedeniyle probleme ÇKKV problemi olarak dikkate alınmaktadır.

Çalışmada tekerlekli sandalyelerin seçimini etkileyen kriterler ve bu kriterlere ilişkin karşılaştırmalar altı uzman eşliğinde grup karar verme tekniği gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmede kullanılan kriterler, literatür incelemesinden ve tekerlekli sandalye kullanıcısı omurilik felçli (parapleji) ve tetrapleji hastası olan ve tekerlekli sandalye kullanan dört birey ve iki tekerlekli sandalye satış temsilcisi olmak üzere

toplam altı uzman görüşü alınarak oluşturulmuştur. Tekerlekli sandalyelerin değerlendirilebilmesi için güvenlik, performans, ergonomiklik, bakım ve maliyet ana kriterleri belirlenmiştir. Bu ana kriterler altında ise 18 adet alt kriter belirlenmiştir.

Problemin çözümünde ÇKKV yöntemlerinden AAS, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Kriter ağırlıklarının hesaplanması için AAS yöntemi tercih edilmiştir. Burada AAS yönteminin seçilmesinde kriterler arasındaki ilişkilerin bir ağ yapısı ile modellenme imkanı sunması nedeniyle AAS yöntemi tercih edilmiştir.

Alternatiflerin sıralanması için ise, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. TOPSIS yöntemi pozitif uzaklık ile karar verici için en uygun alternatifi belirlerken negatif uzaklık operatörü ile de en kötü alternatiften uzaklaşmayı sunmaktadır. Bu nedenle TOPSIS yöntemi tercih edilen bir yöntemdir. Öte yandan PROMETHEE yönteminin tercih edilme nedeni ise her bir kriter nicel ve nitel olma özelliklerine göre tanımlanarak alternatifleri değerlendirme imkanı sunmasıdır.

Alternatifler sıralanırken, hibrit bir yaklaşım benimsenerek AAS yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerine entegre edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yöntemler özetlenmiştir. Dördüncü bölümde problemin çözümü ve son bölümde ise sonuç bölümü yer almaktadır.

### Literatür Araştırması

Literatür araştırmasında, tekerlekli sandalye tasarımı ve tekerlekli sandalye seçimindeki sorunları ele alan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmaların bazıları ise ÇKKV yöntemleri ile problemin çözümüne katkıda bulunmuştur. Literatür araştırmasında, çalışmalar içerisinde yer alan kriterler ve yöntemler değerlendirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda, tekerlekli sandalye seçimi için dikkate alınan kriterlere ilişkin özet bilgiler Tablo 1’de sunulmaktadır. Tekerlekli sandalye seçim sorununu çözmek amacıyla incelenen çalışmaların çoğunda “güvenlik” kriteri kullanılmıştır. “Performans” kriteri de çalışmalarda önem arz eden diğer kriterlerden biridir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

Literatürde tekerlekli sandalyelere yönelik çalışmaları, tekerlekli sandalye tasarımı ve tekerlekli sandalye seçimi olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz. İlk olarak tekerlekli sandalye tasarımına yönelik olarak, Hambali (2008), çalışmasında tekerlekli sandalye tasarımında yanlış karar vermenin, ürünün yeniden tasarlanması ve üretilmesine sebebiyet vereceğini, bu nedenle doğru tasarımı seçmenin çok önemli olduğunu, en uygun tasarım konseptinin belirlenmesi için ise faydalı yöntem olarak Analitik Hiyerarşi Sürecinin (AHP) olduğunu belirtmiştir. “Ergonomiklik” ve “Performans” kriterlerini dikkate almıştır. AHP’yi karar verme sürecinde hemen hemen her uygulamada kullanmıştır. Yuan et al. (2014), tekerlekli sandalye kullanıcılarının ihtiyaçlarının farklı derecede olduğu, kişiselleştirilmiş tekerlekli sandalyelerin nasıl tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Tekerlekli sandalye kullanıcılarının talepleri doğrultusunda, tekerlekli sandalyelerin özelliklerine göre 20 uzman tekerlekli sandalye kullanıcısıyla değerlendirme yapmıştır. “Sürüş” kriterini yalnızca bir çalışmada dikkate almıştır. Ahmad et al. (2017), yaşlıların durumunun genellikle göz ardı edilmekte olduğunu ve dikkate alınmadığını ve bu nedenle, yaşlıların tekerlekli sandalyeye geçişi sırasında yaşadıkları sorunları belirlemek, mevcut tekerlekli

sandalyenin fiziksel yorgunluğunu azaltacak, yaşlıların bağımsızlığını veya kabiliyetini artıracak tasarımının iyileştirilmesi için bir çalışma yapmıştır. “Bakım”, “Performans”, “Güvenlik” ve “Maliyet” kriterlerini dikkate almıştır. Muqudimah (2019), tekerlekli sandalyenin erişilebilirliğinin, hareketliliğindeki bağımlılıkları ve engelleri çözmekte yardımcı olan az sayıda çalışmada “Ergonomiklik” kriteri önemli bir unsur olduğunu belirtmiştir.

Tekerlekli sandalye seçiminde yer alan kriterlere bakıldığında ise “güvenlik” ve “maliyet” kriterlerinin Tablo 1’de yer alan çalışmalarda da yer almaktadır. Desai et al. (2019), ayağa kaldırma özelliklerine sahip ayarlanabilir tekerlekli sandalyelerin, tekerlekli sandalye kullanıcılarının yaşam kalitelerini, güvenliklerini ve konforlarını arttırdığının ele alındığı bir çalışma yapmıştır. Mistarihi et al. (2020), tekerlekli sandalyenin ergonomik olarak analiz edildiğinde, vücut duruşlarının bozulma olasılığını azalttığını, tekerlekli sandalye tasarımında malzeme kalitesinin ağırlık olarak diğer kriterlere göre önemli olduğunu tespit ettiği bir çalışma yapmıştır.

Literatür araştırması kapsamında ÇKKV yöntemleri dâhilinde incelenen çalışmalara Tablo 1’de yer verilmiştir.

**Tablo 1.** Tekerlekli sandalye seçimi için literatürde kullanılan ÇKKV yöntemleri

Yazar/Kriterler	ER	KO	KT	AA	AK	AKY	KY	K	S	KDY	MA	A	D	KK	Yöntem
Hambali vd. (2008)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓	✓	AHP
Yuan vd. (2014)								✓	✓	✓					AHP
Ahmad vd. (2017)		✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓	✓	AHP
Muqudimah (2018)	✓	✓	✓								✓	✓			AHP ve Delphi
Desai vd. (2019)												✓			AHP
Mistarihi vd. (2020)											✓			✓	AAS
Bu çalışma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

**ER:** Ergonomiklik, **KO:** Kolay onarım, **KT:** Kolay transfer, **AA:** Ayarlanabilir ayaklık, **AK:** Ayarlanabilir kolçak, **AKY:** Ayarlanabilir koltuk yüksekliği, **KY:** Kendiliğinde yürüme, **K:** Koltuk, **S:** Sırtlık, **KDY:** Kol dayama yeri, **MA:** Maliyet, **A:** Ağırlık, **D:** Denge, **KK:** Keskin kenar.

Ayrıca tekerlekli sandalye ile ilgili incelenen diğer çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Kuvvetli (1995), tekerlekli sandalye tasarımını incelemiştir. Shirley (2001), tekerlekli sandalye karşılaştırması yapmıştır. DiGiovine (2000) manuel tekerlekli sandalyede sürüş konforu ve ergonomisinin kullanıcı değerlendirmesini yapmıştır. Batavia (2001) ve Woude (2001), bazı kriterlere göre en uygun tekerlekli sandalyeyi tespit etmiştir. DiGiovine (2003), tekerlekli sandalye minderi ve sırtlığı seçimi yapmıştır. Kwarciak (2004), tekerlekli sandalye süspansiyon analizi değerlendirmesi yapmıştır. Çınar (2008), konut içinde tekerlekli sandalye kullanıcılarının hayatlarının zorlandığı ve yaşam kalitelerinde de olumsuz yönde etkileşim yaparak, bazı fiziksel ve yaşamsal haklarının kullanılmasında engel olduğu durumları incelemiştir. Ulusoy (2008), okçuluk sporu için bedensel engelli olup olunmamasına göre fiziksel engellilerin performanslarındaki değişimleri gözlemiştir. Yılmazçoban (2009), 5 adet elektrik motorlu tekerlekli sandalyeyi baz alarak, bunlar içerisinde yer alan şasileri bilgisayar programı aracılığıyla tekerlekli sandalyenin önden çarpışma durumunda ne durumda olacağına dair simülasyonunu incelemiştir. Tosun (2010), tekerlekli sandalye ile banyo içinde hareket kabiliyetleri incelemiştir. Lemay (2011), tekerlekli sandalye kullanımında kabiliyeti arttırmayı amaçlamıştır. Stefanov (2015), bazı kriterlere göre en uygun tekerlekli sandalyeyi tespit etmiştir. Hong (2016), bazı kriterlere göre en uygun tekerlekli sandalye sırtlığını tespit etmiştir. Saltan (2017) ve Doruk (2019), tekerlekli sandalye kullanımı sırasında, tekerlekli sandalye kullanıcısının yetenekleriyle hayat standardına olan ilişkileri tespit etmiştir. Boz (2019), tekerlekli sandalye ile banyo içinde hareket kabiliyetleri incelemiştir. Mülayim (2020), sosyal hayata adapte olabilme adına engellilerin yaşadığı sorunlara dair çözüm önerileri getirmiştir. Karabay (2021), çevresel engellerin ortadan kaldırılmasıyla tekerlekli sandalye kullanıcılarının hayatını kolaylaştırılabileceğini incelemiştir. Uyanık (2022), uzun süre boyunca tekerlekli sandalye üzerinde zaman geçiren tekerlekli sandalye kullanıcılarında meydana gelebilecek yaralanmaların önlenmesi amacıyla çalışmalar yapmıştır.

Literatürde yapılan bazı çalışmalar tekerlekli sandalyenin tasarımını hedeflerken, yapılan bu

çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak aşağıdaki süreçler göz önünde bulundurulmuştur:

- Tekerlekli sandalye tasarımı değil, tekerlekli sandalyenin son kullanıcıya yönelik olarak tekerlekli sandalyede yer alması gereken kriterlerle birlikte değerlendirilmiştir.

- Çalışmayla birlikte farklı tekerlekli sandalyeler içerisinde, diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak birçok kriter eşliğinde en uygun tekerlekli sandalye seçimi yapılmıştır.

- Tekerlekli sandalye seçiminde ÇKKV yöntemlerinden AAS, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile birlikte ilk kez değerlendirilme ve seçim yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Çalışmada problemin çözümü için kullanılan yöntemler bu başlık altında özetlenecektir.

### Analitik ağ süreci (AAS)

Problemler, hiyerarşik yapıya sahip olmamalarına rağmen, problemin çözümünde ele alınan ana kriter, alt kriter ve alternatifler birbirleriyle etkileşim halinde olabilir. Karar vermede etkili olan kriterler arasındaki ilişkileri göz önünde bulunduran AAS yöntemi, Thomas L. Saaty (2006) tarafından geliştirilen AHP'nin genelleştirilmiş halidir Alptekin (2010). AAS, sayısal faktörlerin ifade edilemediği durumlarda iyi bir çözümleyicidir Yaralıoğlu (2010) ve AHP'ye kıyasla daha karmaşık karar verme problemlerine uygulanabilmektedir. AAS yönteminin uygulama adımları şu şekildedir Hamurcu ve Eren (2017):

Adım 1: Karar Verme Problemi Oluşturulması

Adım 2: İlişkilerin Belirlenmesi: Ana kriter ve alt kriterler arasındaki bağımlıklar belirlenmiştir.

Adım 3: Kriterler Arasındaki İkili Karşılaştırmaların Oluşturulması

Adım 4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: Her bir karşılaştırma matrisindeki tutarlılık oranı (CR) hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu çıkan değer 0,10 oranından küçük olduğu takdirde tutarlıdır.

Adım 5: Süper Matrisler Sırasıyla Oluşturulmuştur

-Ağırlıklandırılmamış Süpermatris:  
Süpermatrisler, problemi oluşturan ana kriter, alt kriter ve alternatifler arasındaki tüm bağımlılıkların hesaplanarak üstünlük vektörleriyle oluşturulan kare matristir Göktürk, vd. (2011).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

-Ağırlıklandırılmış Süpermatris:  
 Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin her bir sütun toplamı değerinin 1 birime eşit olduğu kriterdir Anık (2007).

-Limit Süpermatris: Ağırlıklandırılmış süpermatrisin satırlarındaki birimlerin değişmemesine kadar üslerinin alınmasıdır.

Adım 6: En İyi Alternatifin oluşturulması: Alternatifler, limit süpermatris ve kriter ağırlıklarının hesaplanmasıyla birlikte, bu hesaplanan değerlerden en yükseği alınarak alternatif seçilmektedir.

### TOPSIS yöntemi

TOPSIS yöntemi ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından uygulamaya alınmıştır. Karar verme sorunlarına çözüm ararken yapılan tespitler neticesinde pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre alternatifler seçilmektedir. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır Hwang ve Yoon (1981):

Adım 1: Karar Matrisi Belirlenir: Karar matrisindeki satırlarda üstünlüğü istenilecek alternatiflerle sütunlarda ise karar vermeye yardımcı olacak kriterler yer alır. Diğer adı ise başlangıç matrisidir.

Adım 2: Standart Karar Matrisi Belirlenir: Eşitlik 1.'deki formülün yardımıyla standart karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (1)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisi Belirlenir: Standart karar matrisindeki her bir kriterin ağırlık değeri ilgili kriterin çarpımıyla ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmektedir.

Adım 4: İdeal (A\*) ve Negatif İdeal (A-) Çözümleri Belirlenir: Ağırlıklı standart karar matrisinde yer alan değerler içerisinde maksimum ve minimum olanlar bulunur.

Adım 5: Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması: Eşitlik 2. ve 3.'te yer alan formülün yardımıyla matriste ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplanmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n ((v_{ij} - v_j^*)^2)} \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n ((v_{ij} - v_j^-)^2)} \quad (3)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Bulunması: Eşitlik 4.'te yer alan formülün aracılığıyla ideal çözüme yakınlık hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (4)$$

Negatif ideal ayırım ölçütü bulunurken, ilk olarak toplam toplam ayırım ölçütleri içerisinde yer alan pay hesaplanmaktadır.  $C_i^*$  değeri 0-1 birim aralığında değer almaktadır. Bu değer 1 olması ideal çözümü, 0 değeri olması ise negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı göstermektedir (Arıbaşı ve Özcan, 2016).

### PROMETHEE yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yöntemi ilk olarak 1982 yılında Brans (1985) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem yedi adımda hesaplanmaktadır Dağdeviren ve Eraslan (2008).

Adım 1: Veri matrisi belirlenir: Öncelikle kriterler için kriterlerin ağırlığı ve veri matrisi oluşturulmaktadır.

Adım 2: Kriterler için tercih fonksiyonları oluşturulur: Kriterler için kullanılması gereken tercih fonksiyonları belirlenmektedir.

Adım 3: Ortak tercih fonksiyonları oluşturulur: a ve b alternatifler olmak üzere;

$$p(a, b) = \left\{ \begin{array}{l} 0, f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)], f(a) > f(b) \end{array} \right\} \quad (5)$$

Adım 4: Tercih indeksleri oluşturulur: Ortak tercih fonksiyonları belirlenir. Sonrasında ise her bir alternatif çiftinde yer alması gereken tercih indeksleri de oluşturulur. Eşitlik 6.'da a ve b alternatifleri için tercih indeksi hesaplanmıştır.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \cdot p_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (6)$$

Adım 5: Alternatifler için pozitif ( $\Phi^+$ ) ve negatif ( $\Phi^-$ ) üstünlüklerin oluşturulması: Eşitlik 7. ve 8.'de gösterildiği üzere pozitif üstünlük ve negatif üstünlük hesaplanır.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (7)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b, a) \quad (8)$$

Adım 6: PROMETHEE I ile alternatifler için kısmi öncelikler oluşturulur. 3 durumda gösterilecek olan alternatiflerin tercih edilme durumları oluşturulacaktır.

1.durum: Eşitlik 9., 10. ve 11.'de yer alan hesaplamalardaki koşullar tutarlıysa a alternatifi b alternatifine tercih edilmektedir.

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (9)$$

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (10)$$

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (11)$$

2.durum: Eğer Eşitlik 12. sağlanıyorsa, a alternatififiyle b alternatifi aynıdır.

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (12)$$

3.durum: a alternatififiyle b alternatifinin karşılaştırılmayacağı durumu Eşitlik 13. veya Eşitlik 14.'te yer alan denklemlerdeki koşullara bağlıdır.

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) > \phi^-(b) \quad (13)$$

$$\phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (14)$$

Adım 7: PROMETHEE II ile alternatifler için tam önceliklerin belirlenir: Tam öncelikler, Eşitlik 15'te yer alan denklemlerle hesaplandıktan sonra sıralama yapılmaktadır.

$$\phi^+(a) = \phi^+(a) + \phi^+(a) \quad (15)$$

Eşitlik 15.'te hesaplanan öncelik değerleri sonucunda şu kararlar alınır:

- $\phi(a) < \phi(b)$  ise a alternatifi b alternatifinden üstündür.
- $\phi(a) = \phi(b)$  ise a alternatififiyle b alternatifi aynıdır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın uygulama bölümü bu başlık altında özetlenmektedir. Problemin tanımlanmasının ardından alternatifler ve kriterler belirlenerek daha sonra problemin çözümü sunulmaktadır.

### Problemin Tanımı

Tekerlekli Sandalye, fiziksel engellilerin hayati önemi haiz vazgeçilmez elemanlarından biridir. Tekerlekli sandalye kullanıcılarının günlük yaşamdan daha fazla verim alma beklentilerinin artmasıyla birlikte, tekerlekli sandalye kullanıcısının günlük yaşamının her alanında yer alan tekerlekli sandalyede de farklı tercihler ortaya çıkmaktadır. Tekerlekli sandalye sayesinde hayatın her alanına fiziksel engelli bireyin aktif olarak katılabilmesine imkân sağlanmaktadır. Tekerlekli sandalyenin, fiziksel engelli tekerlekli sandalye kullanıcısına yönelik olarak tasarlanmasının yanında, tekerlekli sandalye kullanıcısı da tasarlanan bu sandalyeler arasından nihai olarak kendisine en uygun olanı tercih etmektedir. Yapılan bu çalışmada fiziksel engelli tekerlekli sandalye kullanıcısı için tekerlekli sandalyeler arasından en uygun tekerlekli sandalyenin seçilmesi problemi ele alınmaktadır. Problemin çözümü için AAS, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Kriter ağırlıklarının hesaplanabilmesi amacıyla AAS yöntemi kullanılmıştır. Tekerlekli sandalyelerin sıralanması sürecinde ise TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile sonuca ulaşılmıştır.

### Alternatif ve kriterlerin belirlenmesi

Tekerlekli sandalye seçimi problemi için tekerlekli sandalye kullanıcıları olan omurilik felçli parapleji ve tetrapleji hastası olan dört kişi ve iki satış temsilcisinden oluşan toplam altı uzman görüşü alınarak grup karar verme tekniği ile oluşturulmuştur. Ayrıca tekerlekli sandalye seçimi problemiyle ilgili nicel veriler tekerlekli sandalye kullanıcısı fiziksel engellilerin görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Tekerlekli sandalye seçiminde güvenlik ana kriteri altında, denge (D), keskin kenar (KK), transfer



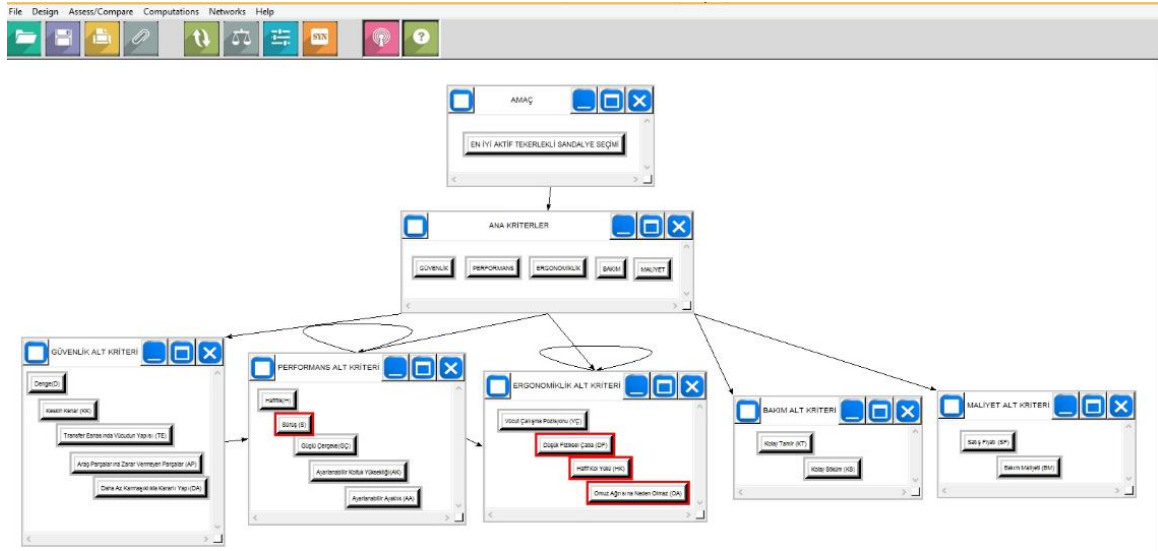
Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

esnasında vücudun yapısını bozmama (TE), araç parçalarına zarar vermeyen parçalar (AP), daha az karmaşıklıkla kararlı yapı (DA) alt kriterleri, performans ana kriteri altında, hafiflik (H), güçlü çerçeve (GÇ), sürüş (S), ayarlanabilir koltuk yüksekliği (AK), ayarlanabilir ayaklık (AA) alt kriterleri, ergonomiklik ana kriteri altında, vücut çalışma pozisyonu (VÇ), düşük fiziksel çaba (DF), hafif kol yükü (HK), omuz ağrısına neden olmama(OA) alt kriterleri, bakım ana kriteri altında, kolay tamir (KT), kolay söküm (KS) alt kriterleri, maliyet ana kriteri altında satış fiyatı (SF) ve bakım maliyeti (BM) alt kriterleri belirlenmiştir.

Alternatif tekerlekli sandalyeler beş adet olmak üzere, Quickie-Krypton R, Kuschall-K, Panthera-X, TiLite- ZRA ve RGK-Tiga FX olarak belirlenmiştir.

### AAS yöntemi ile kriter ağırlıklarının hesaplanması

Kriter ağırlıklarının hesaplanması için beş ana kriter ile 18 alt kriterin için AAS yöntemi adımları sırasıyla uygulanmıştır. İlk olarak kriterlerin birbiri ile ilişkilerini gösteren ağ yapısı kurulmuştur. Bu ağ yapısı Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Kriterler arası ilişkileri gösteren ağ yapısı

Şekil 1’deki ağ yapısındaki ilişkiler özetlenir ise; örnek olarak, performans alt kriterleri kendi arasında ilişkiliyken düşük fiziksel çabayla performans arasında ise tek yönlü bir ilişkisi söz konusudur. Ayrıca, ergonomiklik ana kriterinde hafif kol yükü ve düşük fiziksel çaba alt kriterlerinin kendi arasında da ilişkiler yer almaktadır. Kriterler arasındaki bu ağ yapısının tamamlanması sonrası AAS yönteminde kriterler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. İkili karşılaştırmalarda ise, matrislerdeki tutarlılık

oranları 0,10’un altında çıktığından dolayı karşılaştırma matrisleri tutarlıdır.

AAS yöntemi ile kriterler arasındaki ilişkiler tanımlandıktan sonra karşılaştırmalar yapılarak ağırlıkları bulunmuştur. Super Decisions paket programında karşılaştırmalar 1-9 skalasına göre yapılmaktadır. Karşılaştırmalara ilişkin örnek bir ekran görüntüsü Şekil 2’de sunulmaktadır.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406



Şekil 2. İkili karşılaştırma matrisi ekran görüntüsü

Kriterlerin ikili karşılaştırılması için AAS yöntemi vasıtasıyla elde edilen ana kriter ağırlıkları ve alt kriter ağırlıkları Tablo 2’de gösterilmiştir. Sonuç olarak, güvenlik ve performans ana kriterlerinin, diğer kriterlere göre daha yüksek düzeyde bir ağırlığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Ana kriterler arasında güvenlik ve performans kriteri %34,96 kriter ağırlığıyla önem düzeyi en yüksek kriterdir. Bu kriterleri sırasıyla ergonomiklik, maliyet ve bakım takip etmektedir.

Tablo 2. Ana ve alt kriterlerin normalize ağırlıkları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Normalize Ağırlıklar
Güvenlik 0,34967	D	0,041
	KK	0,215
	TE	0,051
	AP	0,024
	DA	0,018
Performans 0,34967	H	0,111
	GÇ	0,045

BAKIM	S	0,163
ERGONOMİK-	AK	0,010
GÜVENLİK-	AA	0,020
MALİYET	VÇ	0,023
PERFORMANS	DF	0,085
	HK	0,034
	OA	0,045
Bakım	KT	0,040
0,05363	KS	0,013
Maliyet	SF	0,050
0,06042	BM	0,010
Toplam		1

### AAS-TOPSIS yöntemi ile problemin çözümü

AAS yöntemi ile elde ettiğimiz Tablo 2’de yer alan nihai normalize ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılacaktır.

Alternatif tekerlekli sandalyeler için beş ana kriter altında yer alan on sekiz alt kriter dikkate alınarak uygun tekerlekli sandalye seçimi elde etmek için oluşturulan karar matrisi aracılığıyla tespit edilmiş ve Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Karar matrisi

Alternatifler	Kriterler																	
	D	KK	TE	AP	DA	H (Kg)	GÇ	S	AK	AA	VÇ	DF	HK	OA	KT	KS	SF (TL)	BM (TL)
Quickie-Krypton R	2	7	1	2	2	6	2	1	2	5	1	5	5	1	2	1	25000	5000
Kuschall-K	3	6	3	1	3	10	3	3	3	3	2	4	4	2	3	2	10000	2000
Panthera-X	9	1	9	9	6	2	9	2	2	1	7	9	9	6	5	9	45000	10000
TiLite- ZRA	5	3	4	4	9	14	5	8	8	9	6	3	3	9	9	3	15000	3000
RGK-Tiga FX	1	9	2	5	1	14	2	6	4	2	4	2	2	3	1	5	15000	5000

AAS ile hesaplanan kriter ağırlıklarıyla karar matrisinin normalizasyonu sonucunda elde edilen normalize karar matrisi kullanılarak

ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuş ve ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri hazırlanmıştır. Bu kümelere ayırma ölçütleri

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

hesaplanarak, ideal ve negatif ideal çözümlere yakınlıklar, yani alternatif tekerlekli sandalyeler için öncelik sıralaması Tablo 4'te elde edilmiştir.

**Tablo 4.** Alternatiflerin öncelik sıralaması

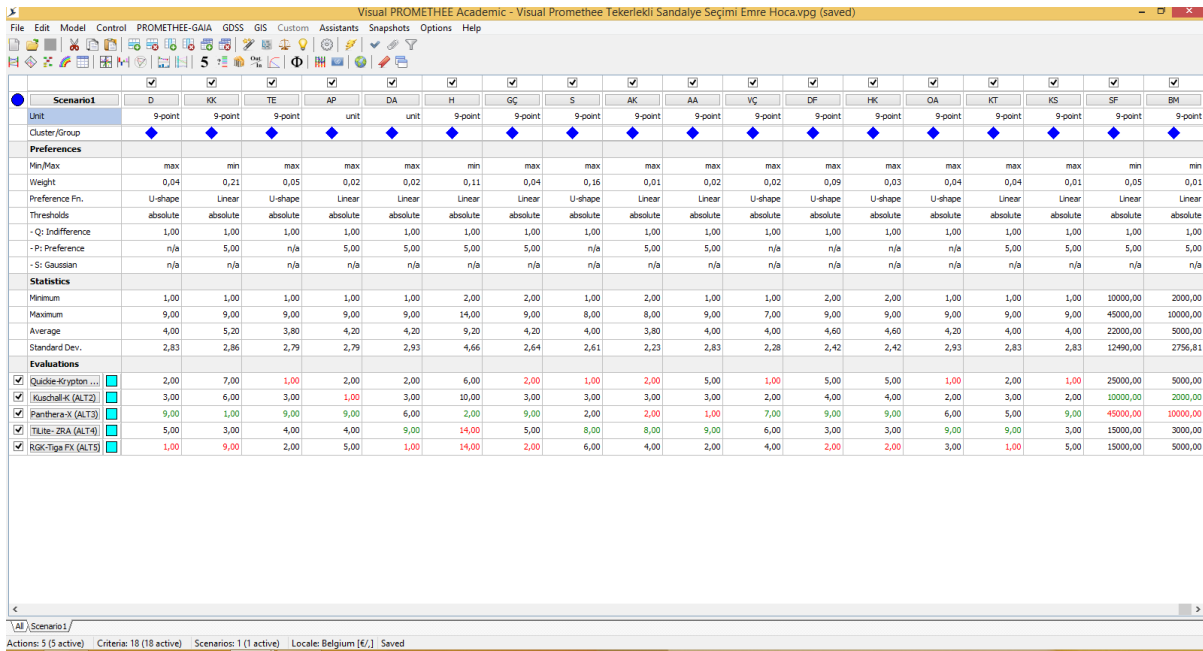
Alternatifler	Öncelik Değeri	Öncelik Sırası
TiLite- ZRA	0,6390	1
Panthera-X	0,6277	2
Kuschall-K	0,3416	3
RGK-Tiga FX	0,3269	4
Quickie-Krypton R	0,2630	5

Bu sonuçlara göre TiLite-ZRA alternatifinin birinci, Panthera-X alternatifinin ikinci, Kuschall-K alternatifinin üçüncü, RGK-Tiga FX alternatifinin dördüncü ve Quickie-Krypton R alternatifinin beşinci alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

### AAS-PROMETHEE yöntemi ile problemin çözümü

PROMETHEE yönteminde ilk adım veri matrisini oluşturmaktır. Veri matrisinin oluşturulduktan sonra ikinci adım ise PROMETHEE tercih fonksiyonları belirlenmelidir. Tercih fonksiyonları belirlenirken kriterlerin nicel ve nitel olması gibi

özellikleri dikkate alınarak altı farklı tercih fonksiyonundan uygun olanı seçilir. Çalışmada yer alan bazı kriterler nicel bazıları ise nitel yapıda kriterlerdir. Nicel kriterlerde, bu kriterlerin özelliklerinin belirli bir ortalamının üstünde olması gerekliliğinden dolayı ve karar matrisi 1-9 arasındaki tam sayılı değerleri içerdiği için doğrusal (linear) fonksiyon (5. Tip), nitel kriterlerde ise U tipi (2. Tip) fonksiyon tercih edilmiştir. Kriterlerin yapısı ve kriterlerin alabileceği değerlerden yola çıkılarak tercih fonksiyonları belirlenmiştir. Nitel olarak ifade edilebilen kriterler için U tipi tercih fonksiyonu, nicel olarak ifade edilen kriterler için ise doğrusal (Linear) tercih fonksiyonu seçilmiştir. Karar matrisinin oluşturulmasından ve ortak tercih fonksiyonları belirlenmesinden sonra AAS yönteminde ortaya çıkarılan veriler “Visual PROMETHEE” programına girilmiştir. Kriterleri tamamladıktan sonra ise karar verici için, her bir kriterde minimum mu yoksa maksimum değerlerin mi daha iyi olduğunun tespiti yapılmıştır. “Max” olarak belirlenmesi durumunda karar verici için en büyük değer tercih edileceği, “Min” olarak belirlenmesi durumunda ise karar verici tarafından en küçük değer tercih edileceği görülmektedir. Visual PROMETHEE paket programında veri giriş ekranı Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Visual PROMETHEE Veri Giriş Görüntüsü

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

Tercih fonksiyonları ve veri girişleri oluşturulduktan sonra “Visual PROMETHEE” paket programıyla alternatifler sıralanmıştır. Pozitif üstünlükle negatif üstünlük değerleri “Visual PROMETHEE” paket programı yardımıyla bulunmuştur. Tam üstünlük değerleri ise pozitif üstünlük ve negatif üstünlük değerlerinin arasındaki farkın alınmasıyla bulunmuştur. Bu

yönteme göre alternatiflerin sıralaması Tablo 5’te verilmiştir. Bu sonuçların ardından, Panthera-X alternatifinin birinci, TiLite-ZRA alternatifinin ikinci, Kuschall-K alternatifinin üçüncü, Quickie-Krypton R alternatifinin dördüncü ve RGK-Tiga FX alternatifinin beşinci alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 5.** PROMETHEE yöntemi ile bulunan sonuçları

Sıralama	Alternatifler	Phi+	Phi-	Phi
1	Panthera-X	0,6420	0,1772	0,4648
2	TiLite-ZRA	0,5382	0,2051	0,3330
3	Kuschall-K	0,2268	0,3743	-0,1475
4	Quickie-Krypton R	0,1719	0,4833	-0,3114
5	RGK-Tiga FX	0,1864	0,5253	-0,3390

## SONUÇLAR

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, engellilerin sayısının günümüzde artmaya başlamasıyla günlük yaşamda ihtiyaçlarına yönelik düzenlemeler ve seçimler yapmak önem arz etmektedir (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>). Bu seçimlerden birisi de fiziksel engellilerin en temel ihtiyaçlarından olan tekerlekli sandalyelerin seçimidir. Tekerlekli sandalye seçiminde farklı kriterler etkili olmaktadır. Bu seçim probleminde tekerlekli sandalye kullanıcılarının karar vermesine katkı sağlamak için ÇKKV yöntemleri de kullanılabilir. Bu

Bu çalışmada da tekerlekli sandalye seçimi problemi ele alınmıştır. Tekerlekli sandalye kullanıcısı taleplerini karşılayabilecek en iyi tekerlekli sandalyeyi seçmek istemektedir. Bu amaçla, çalışmada tekerlekli sandalye seçimi problemi için kriterler belirlenmiş ve en uygun alternatif ÇKKV yöntemleri aracılığıyla tespit edilmiştir. Çalışmada kriter ağırlıkları için AAS yönteminden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ana kriterlerden güvenlik ve performans %34,96 ergonomiklik %18,6 bakım %5,3 maliyet %6 önem düzeyine sahiptir. Tekerlekli sandalye kullanıcısının ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte tekerlekli sandalye seçiminin hayati öneme sahip olduğu düşünüldüğünde güvenlik ve performans ana kriterinin büyük bir önem arz ettiği değerlendirilmektedir. Bu sonuçlara göre tekerlekli sandalye seçiminde, tekerlekli sandalye seçimini

etkileyen kriterlerden bakım ana kriteri altında, kolay söküm ve kolay tamir alt kriterlerinin önem düzeyi daha düşük çıkmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları değerlendirildiğinde ise keskin kenar ve güçlü çerçeve kriterlerinin ağırlıklarının yüksek olduğu görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile alternatiflerin sıralanması için AAS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Bu yöntemler sonucunda elde edilen alternatif sıralamaları aynı çıkmıştır. TOPSIS birinci alternatif TiLite-ZRA çıkmıştır. Bu alternatifin en güçlü alternatif olduğunun görülmesinin sebebi ise, TiLite-ZRA tekerlekli sandalyesinin keskin kenar sayısının az olması, daha hafif olması ve güçlü çerçeve ağırlığının daha yüksek çıkmış olmasıdır. PROMETHEE yönteminde ise Panthera-X birinci alternatif olarak belirlenmiştir. Bu iki alternatif iki farklı yöntemle göre birinci ve ikinci alternatif olarak değişmektedir. Bunun neden olarak ise PROMETHEE yönteminde kriterlere göre tercih fonksiyonunun değişmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, hayatının çok büyük bir bölümünü tekerlekli sandalye üzerinde geçirmekte olan fiziksel engelliler için tekerlekli sandalyelerin seçiminde, fiziksel engellilerin taleplerinin, ihtiyaçlarının ve de kriterlerinin göz önünde tutulacağı kapsamlı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Sonraki çalışmalarda tekerlekli sandalyelerde kullanılan teknolojiler dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılabilir. Aynı zamanda

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

bireylerin çalışma hayatları dikkate alınarak farklı kullanıcılar için alternatiflerin değerlendirilmesi ve karşılaştırmaların yapılması önerimizdir.

### 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

- Ahmad, M. N., Maidin, N., Rahman, M. ve Osman, M. (2017). Conceptual Design Selection of Manual Wheelchair for Elderly by Analytical Hierarchy Process (AHP) Method: A Case Study. *International Journal of Applied Engineering*, 12(17), 6710-6719.
- Alptekin, N. (2010). Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı ile Türkiye’de Beyaz Eşya Sektörünün Pazar Payı Tahmini. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 11(1), 18-27.
- Aly, M. F., Attia, H. A. ve Mohammed, A. M. (2013). Integrated Fuzzy (GMM) -TOPSIS Model for Best Design Concept and Material Selection Process. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(11), 6464-6486.
- Anık, Z. (2007). Nesne Yönelimli Yazılım Dillerinin Analitik Hiyerarşi ve Analitik Network Prosesi ile Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi. *Basılmamış Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri.
- Arıbaş, M. ve Özcan, U. (2016). Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(2), 167-177.
- Batavia, M. (2001). Changing chairs: anticipating problems in prescribing wheelchairs. *disability and rehabilitation*, 23(12), 539-548.
- Boz, Ö. (2019). Engelsiz tasarım bağlamında tekerlekli sandalye kullanıcılarına yönelik mutfak tasarım önerisi (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Brans, J. P. ve De Smet, Y. (2016). PROMETHEE Methods. *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*, 187-219.
- Brans, J. P. ve Vincke, P. A. (1985). Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for MCDM. *Management Science*(31), 647-656.
- Çınar, H. (2008). Yaşam hakkı: tekerlekli sandalye kullanıcılarının konut iç mekan donatı elemanları ve mobilya kullanımı. *Politeknik Dergisi*, 11(2), 0-0.

- Dağdeviren, M. ve Eraslan, E. (2008). Promethee Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 69-75.
- Desai, S., Mantha, S. ve Phalle, V. (2019). TRIZ and AHP in Early Design Stage of a Novel Reconfigurable Wheelchair. *Journal of Mechanical Engineering*, 16(3), 123-141.
- DiGiovine, C. P. (2003). Whole-Body Vibration During Manual Wheelchair Propulsion With Selected Seat Cushions and Back Supports. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 11(3), 311-322.
- DiGiovine, M. M. (2000). User Assessment of Manual Wheelchair Ride Comfort and Ergonomics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(4), 490-494.
- Doruk, M. (2019). Tekerlekli Sandalye Basketbol Oyuncularında Core Kas Dayanıklılığı ile Aerobik Kapasite, Hız, Çeviklik ve Spora Özgü Beceriler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 30(3), 96-106.
- Göktürk, İ. F., Eryılmaz, A. Y., Yörür, B. ve Yuluğkural, Y. (2011). Bir İşletmenin Tedarikçi Değerlendirme ve Seçim Probleminin Çözümünde AAS Ve Vikor Yöntemlerinin Kullanılması. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (025), 61-74.
- Guan, T. M., Qin, M. C. ve Yuan, Y. L. (2012). The evaluation of wheelchair comfort based on analytic hierarchy process. *In Advanced Materials Research*, 415, 1055-1059.
- Hambali, A. (2008). Use of Analytical Hierarchy Process (AHP) for Selecting The Best Design Concept. *Jurnal Teknologi*(49(A)), 1-18.
- Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Raylı Sistem Projeleri Kararında AHS-HP ve AAS-HP Kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 1-13.
- Hong, E. K. (2016). Improving the comfort of manual wheelchair back supports (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).  
<http://www.superdecisions.com/> (accessed 15 February 2023).  
<https://www.who.int/newsroom/factsheets/detail/disability-and-health/> (accessed 15 February 2023).
- Hwang, C. L. ve Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications.
- Iksan, M. N. (2021). Design of a Multi-Functional Wheelchair Based Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace*, 65(1), 8-13.
- Karabay, İ., Fırat M. ve Şenlikçi, H. B. (2021). Türkiye’de Tekerlekli Sandalye Kullanıcılarının Karşılaştıkları Sorunlar ve İlişkili Faktörler. *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation Sciences*, 24(1), 9-52.



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1182406

- Kazançoğlu, Y. ve Ada, E. (2010). Perakende Sektöründe Tedarikçi Seçiminin Bulanık AHP ile Gerçekleştirilmesi. Savunma Bilimleri Dergisi, 9(1), 29-52.
- Kuvvetli, V. (1995). Ortopedik özürtlüler için Tekerlekli Sandalye tasarımı: Tekerlekli Sandalyenin verimliliğinin artırılması için bir araştırma (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Kwarciak, A. M. (2004). Performance analysis of suspension manual wheelchairs (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).
- Lemay, V. (2011). Relationships between wheelchair skills, wheelchair mobility and level of injury in individuals with spinal cord injury. Spinal Cord, 50(1), 37-41.
- Mistarihi, M. Z., Okour, R. A. ve Mumani, A. A. (2020). An integration of a QFD model with Fuzzy-ANP approach for determining the importance weights for engineering characteristics of the proposed wheelchair design. Applied Soft Computing, 90.
- Muqodimah, F. N., Susmartini, S. ve Priadythama, I. (2019, April). Designing an Assistive Devices for Transferring a Wheelchair Users with Comparative Study using AHP Method and Delphi Method. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 495(1).
- Mülayim, A. (2020). Tekerlekli Sandalye Kullanan Engellilerin Sosyal Hayata Katılımında En Büyük Engel; Yapılı Çevrede Yaşanan Problemler Ve Çözüm Önerileri. Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi, 357-382.
- Rizzuti, S. ve De Napoli, I. (2016). The challenging phase of concept selection integrated with the customers' judgement noticed by the kano model. Proceedings of the 18th International Conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE16), Design Education: Collaboration and Cross-Disciplinarity, Aalborg, Denmark, 8th-9th September 2016, 460-465.
- Saaty T. L. ve Vargas L. G. (2006). Decision Making with the Analytic Network Process. Springer Science, (282).
- Saltan, A. ve Ergün, N. (2017). Kadın Tekerlekli Sandalye Basketbolcularında Fonksiyonel Bağımsızlık, Yaşam Kalitesi Ve Tekerlekli Sandalye Becerilerinin Araştırılması. Fizyoterapi Rehabilitasyon, 28(2), 60-67.
- Shirley, G. (2001). Comparison of Fatigue Life for 3 Types of Manual Wheelchairs. Archives of physical medicine and rehabilitation, 82(10), 1484-1488.
- Stefanov, D. (2015). The development and testing of a system for wheelchair stability measurement. Medical Engineering & Physics, 37(11), 1061-1069.
- Tosun, G. (2010). Tekerlekli Sandalye Kullanıcılarına Yönelik Banyo Sağlık Gereçlerinin İşlevsellik Analizi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ulusoy, S. (2008). Bedensel engelli okçularda fiziksel performansın değerlendirilmesi (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Uyanık, M. (2022). Tekerlekli sandalye kullanan kişilerin antropometrik ölçümlerinin tekerlekli sandalyeye uygunluğu. Sağlık ve Toplum, 12(1), 66-71.
- Üstün, Ö., Özdemir, M. S. ve Demirtaş, E. A. (2005). Kıbrıs Sorunu Çözüm Önerilerini Değerlendirmede Analitik Serim Süreci Yaklaşımı. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 16(4), 2-13.
- Woude, L. V. (2001). Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion. Medical Engineering & Physics, 23(10), 713-733.
- Yaralıoğlu, K. (2010). Karar Verme Yöntemleri. Detay Yayıncılık. Ankara.
- Yılmazçoban, İ. K. (2009). Engelli araçlarının sonlu elemanlar metodu yardımı ile çevresel şartlara uygunluğunun incelenmesi (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Yuan, Y. ve Guan, T. (2014). Design of Individualized Wheelchairs Using AHP and Kano Model. Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering, 6.

## Improved Torque and Speed Performances for DTC Controlled Asynchronous Machine By Fuzzy Switching Algorithm

Goksu Gorel\*, Wahib Hilouan Mohamed

Çankırı Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Electronic and Electrical, Çankırı, Türkiye

\*goksugorel@karatekin.edu.tr<sup>ID</sup>, wahibhilouan@gmail.com<sup>ID</sup>

Received date:27.05.2022, Accepted date: 29.12.2022

### Abstract

Direct Torque Control (DTC) is a vector control method based on the control of the stator flux vector in the desired direction. The control of the stator flux vector is achieved by direct selection of the optimum inverter output voltage vectors. The limit values of the trajectory determined in the rotation of the stator flux vector are determined using hysteresis controllers. In this study, performance analysis of two different control methods for reducing speed and torque oscillations of a three-phase asynchronous motor controlled by direct torque control are presented. In Matlab/Simulink based simulation studies, performance analyses were made for different speed and torque references of the motor, and both the transient and steady state speed and torque changes were presented comparatively. When the obtained results are examined, it is seen that the performance of the new fuzzy-based controller, which is offered instead of the Proportional Integral Derivative (PID) controller used in traditional control, significantly decreases in the specific conditions of motor speed and torque oscillations. However, considering the control structure of the direct torque controller, the simple and plain control structure has been preserved. According to the results obtained, it has been shown that the Fuzzy Logic (FL) controller gives a better result than the PID controller at  $t=4.5$  seconds.

**Keywords:** Asynchronous machine, DTC, FL, PID controller

## Bulanık Anahtarlama Algoritması ile DTC Kontrollü Asenkron Makine için İyileştirilmiş Tork ve Hız Performansları

### Öz

Doğrudan moment kontrolü, stator akı vektörünün istenilen yörüngede kontrolü esasına dayalı bir vektör kontrol yöntemidir. Stator akı vektörünün kontrolü, optimum evirici çıkış gerilim vektörlerinin doğrudan seçimi ile sağlanmaktadır. Stator akı vektörünün dönüşünde belirlenen yörüngenin sınır değerleri, histerezis denetleyicilerin kullanımı ile belirlenir. Bu çalışmada, doğrudan moment denetimi ile denetlenen üç fazlı bir asenkron motorun, hız ve moment salınımlarının azaltılmasına yönelik iki farklı kontrol yönteminin performans analizleri sunulmuştur. Matlab/Simulink tabanlı benzetim çalışmalarında motorun farklı hız ve moment referansları için performans analizleri yapılmış gerek geçici durum ve gerekse kararlı durum hız ve moment değişimleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, geleneksel denetimde kullanılan PID kontrolörü yerine sunulan yeni bulanık tabanlı denetleyici performansının motor hız ve moment salınımlarının spesifik şartlarında belirgin ölçüde azalma sağlandığı görülmüştür. Bununla birlikte, doğrudan moment denetleyicinin denetim yapısı dikkate alındığında, basit ve sade denetim yapısı korunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre FL kontrolörün PID kontrolöründen daha iyi bir sonuç verdiği  $t=4.5$  saniyesinde gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Asenkron motoru, DTC, FL, PID kontrolör

### INTRODUCTION

The asynchronous machine, due to its low cost and robustness, is currently the most widely used machine for achieving speed variations. The asynchronous machine has a default unlike the DC machine. That means that the power supply causes the same current to create the flux and the torque, by

causing a flux variation obtained by the torque variations, which makes the control still much more complex than usual. However, numerous studies have been carried out to ensure that the machine is controlled by using of electronic power systems, offering performance and dynamism.

Direct torque control, around the 1980s a so-called Takashi implemented a method that focuses on the torque and flux of the machine. The DTC is the quickest, simplest, and most precise torque control approach for IM drives. It is well recognised for being resilient to changes in motor characteristics, with the exception of stator resistance. Even though it is simple and provides significant benefits, the biggest disadvantage was the wide band of the inverter's switching frequency, even when the flux and torque references were kept constant. This is owing to the nature of the torque and flux hysteresis controllers utilised. The introduction of constant sampling techniques, which replace traditional analogue hysteresis controllers, was the second phase in the development of the DTC concept. As a result, the inverter's maximum switching frequency is restricted. Several writers have proposed numerous modifications and variations to the DTC concept in the case of constant sample frequency. The most of them, however, do not give the quickest torque response (El-Shimy and Zaid, 2016).

The purpose of this method is to estimate the torque and flux of the machine, which is supplied by a two-stage voltage inverter. At high speeds, the method is not sensitive to machine's parameters. This is not the case in low speed, where stator resistance plays an important role in flux estimation. In past decades researchers tried to come up with kindly solutions to provide a good performance to DTC (Soukaina E. D. et al. 2022). Consequently, regulators such as artificial intelligence as fuzzy logic and PID regulator will be used for the rest of our article in order to reduce torque ripple. One of the most important aspects of an IM drive is speed control, which must be managed effectively in order to achieve optimum results. For decades, the proportional integral controller seems to be the choice for induction motor drive's speed control because of its simple structure and capacity to make a fast response time with optimizing parameters. However, because of the PI's nature with fixed gains, if the parameters, speed, or load are modified, the drive performance may deteriorate. As a result, a very durable controller is required, one which can react to changes towards the motor drive. The fuzzy logic controller (FLC) has been recommended as an advanced speed controller due to its capacity to deal with systems non-linearities, measurement variations, and speed variances (Farah *et al.* 2021).

## DIRECT TORQUE CONTROL OF INDUCTION MACHINE

The Direct Torque Control (DTC) technique was introduced by Takahashi in the mid-1980s. Recently, it has been increasingly used in the industry in place of other types, especially Field Oriented Control (FOC). Several works have enabled a rigorous modeling of this control technique, which examines the potential of implementing a torque and flux to AC machines in a decoupled manner when fed by a voltage converter without the need of a feedback loop for current regulation, achieving performance comparable to vector controls. Without the need of electromechanical sensors, the DTC calculates the controlling quantities of stator flux and torque of the motor using stator current measurements (Perdukova et al 2020). In the DTC structure, the asynchronous machine controlled by the voltage inverter is a hybrid dynamic system, whose continuous part is the asynchronous machine and whose discrete part is the voltage inverter (Said M. et al. 2022).

Many different control systems for induction motors have been developed in recent years, and direct torque control has risen to relevance due to its fast dynamic torque feedback and simple control structures. However, the direct torque control approach still has several disadvantages over other control systems, the most significant of which is excessive torque ripple (Korkmaz *et al.* 2015).

The control consists of determining the control sequence supplied to the switching of a voltage inverter in terms of controlling the electromagnetic torque and stator flux. This choice is designed to take advantage of hysteresis controllers, which are responsible for controlling the system's state while taking into account the stator flux amplitude and electromagnetic torque (Mustapha *et al.* 2022). To keep these two quantities within defined error ranges. The two outputs of the controllers combined with the information on the position where the flux vector was located, determine the switching table used to regulate the inverter. The inverter (two-level inverter) can reach seven different positions in the phase plane, corresponding to the eight sequences of the voltage vector at the inverter output. The direct control of the conventional torque of a three-phase asynchronous machine can be illustrated in Figure 1.

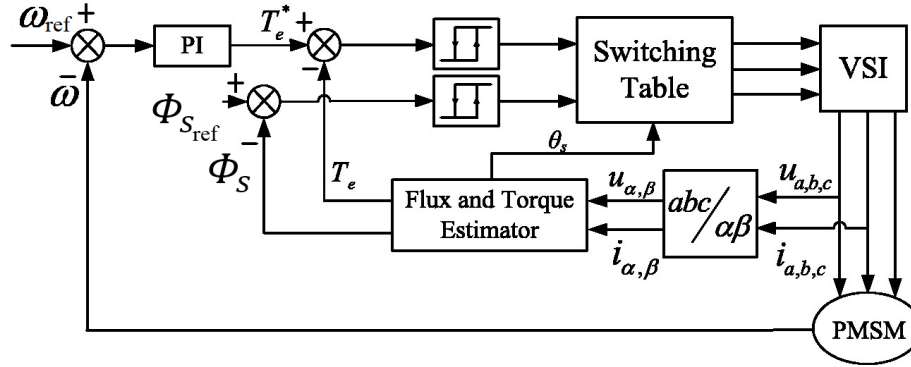


Figure 1. Structure of conventional direct torque control

**Mathematical Modeling of IM and Voltage Source Inverter**

The simplified equation 1 of the model of the induction machine in the stator reference ( $\alpha, \beta$ ) in steady state is shown below:

$$\dot{x} = Ax + B \tag{1}$$

With,  $A = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & a_2 & a_{3\omega_r} \\ 0 & a_1 & -a_{3\omega_r} & a_2 \\ a_4 & 0 & a_5 & -\omega_r \\ 0 & a_4 & \omega_r & a_5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \frac{di_{s\alpha}}{dt} \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} \\ \frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} \\ \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} \end{bmatrix}, \text{ and } X = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \phi_{r\alpha} \\ \phi_{r\beta} \end{bmatrix}$$

The static converter is used to generate the three-phase voltage that drives the motor. We consider the converter supply as a perfect source, made up of two generators source, made of two generators of F.E.M. equal to  $E/2$  connected to a point noted no. In practice, several technologies of switches are used, for example, the MOS (Metal-Oxide Semiconductor) or IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) (Brown *et al.* 2011).

The role of the inverter is to supply simple AC voltages noted  $V_{an}, V_{bn}$  and  $V_{cn}$  to the motor, from a DC voltage  $E$  (supplied by a rectifier or another DC supply); the voltages supplied by the inverter form a three-phase system of variable frequency and amplitude.

The converter is controlled by the logical  $S_a, S_b, S_c$ . The combination of the different states of the

converter gives  $2^3=8$  possible cases for the voltage vector  $V_s$  including two null vectors ( $V_0$  and  $V_7$ ) and six non-null vectors as shown in Figure 2.

The voltage vector is represented by the following equation 2:

$$V_s = \sqrt{\frac{2}{3}} * E(S_a + a * S_b + a^2 * S_c) \tag{2}$$

With  $a = e^{\frac{j2\pi}{3}}$

The choice of the vector  $V_s$  is based on the position of stator flux ( $\Phi_s$ ) in the reference frame ( $\alpha, \beta$ ), the required variation of its modulus, its sense of rotation and the variation of the torque.

The  $(\overline{\Phi_s})$  movement area is divided into six zones  $i$ , with  $i = [1;6]$ .

When the flux is inside a zone  $i$  one of the eight voltage vectors listed below can be used to regulate the flux and torque. (Cheok and Fukuda 2002):

If  $V_{i+1}$  is chosen then  $(\overline{\Phi_s})$  increases and  $\Gamma_{em}$  increases.

If  $V_{i-1}$  is chosen then  $(\overline{\Phi_s})$  increases and  $\Gamma_{em}$  decreases.

If  $V_{i+2}$  is chosen then  $(\overline{\Phi_s})$  increases and  $\Gamma_{em}$  increases.

If  $V_{i-2}$  is chosen then  $(\overline{\Phi_s})$  decreases and  $\Gamma_{em}$  decreases.

If  $V_0$  and  $V_7$  are chosen then the rotation of stator flux is stopped and a drastic decreasing of  $\Gamma_{em}$  is shown taking into account the value of stator remains unchanged.

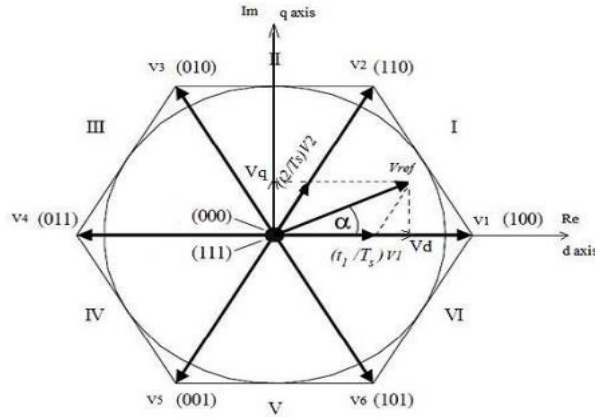


Figure 2. Voltage vector Vs based on switching states.(Ildarabadi and Ahmadi 2017)

At the beginning of the region, the vectors  $V_{i+1}$  and  $V_{i-2}$  are perpendicular to  $\overrightarrow{(\Phi_s)}$ , which results in a rapid evolution of the torque but a slow evolution of the flux amplitude  $\Phi_s$ , whereas at the end of the region, the evolution is the opposite. With the vectors  $V_{i-1}$  and  $V_{i+2}$ , there is a slow evolution of the torque and a fast evolution of the amplitude  $F_s$  at the beginning of the zone, while at the end of the zone it is the opposite. The vectors  $V_i$  and  $V_{i+3}$  are not used whatever the direction of the torque or flux evolution because the flux component is very strong with a zero torque in the middle of the zone.

The voltage vector at the inverter's output is calculated from the torque and flux differences, as well as the position of the vector  $F_s$ , in relation to their reference (Patel *et al.* 2012). A flux estimator in modulus and position as well as a torque estimator are therefore necessary.

From the equation 3 described in the stator reference, the flux is represented as follows:

$$\Phi_s = \int_0^t (V_s - R_s * I_s) dt \quad (3)$$

The stator current is measured while the stator voltage depends on the state of the switches ( $S_a, S_b, S_c$ ), and the DC link voltage  $E$ . Projecting on the two axes  $\alpha$  and  $\beta$ , we will obtain the two components  $\alpha$  and  $\beta$  of the estimated stator flux vector, that is:

$$\Phi_{s\alpha} = \int_0^t (V_{s\alpha} - R_s * I_{s\alpha}) dt \quad (4)$$

$$\Phi_{s\beta} = \int_0^t (V_{s\beta} - R_s * I_{s\beta}) dt \quad (5)$$

$$\hat{\Phi}_s = \hat{\Phi}_{s\alpha} + j\hat{\Phi}_{s\beta} \quad (6)$$

By applying the transformation of Concordia, we obtain:

$$V_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} * E * (s_a - \frac{1}{2}(s_b + s_c)) \quad (7)$$

$$V_{s\beta} = \sqrt{\frac{1}{2}} * E * (s_b - s_c) \quad (8)$$

$$V_s = V_{s\alpha} + jV_{s\beta} \quad (9)$$

Similarly, the currents  $I_{s\alpha}$  and  $I_{s\beta}$  are obtained from the measurement of the real currents of the machine  $I_{sa}, I_{sb}$  and  $I_{sc}$  ( $I_{sa}+I_{sb}+I_{sc}= 0$ ) and by applying the CONCORDIA transformation, we obtain:

$$I_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_{sa} \quad (10)$$

$$I_{s\beta} = \sqrt{\frac{1}{2}} * (I_{sb} - I_{sc}) \quad (11)$$

$$I_s = I_{s\alpha} + jI_{s\beta} \quad (12)$$

The angle and amplitude of the estimated stator flux are determined from the two flux components in frame  $\alpha$ - $\beta$ , by:

$$\Phi_s = \sqrt{\Phi_{s\alpha}^2 + \Phi_{s\beta}^2} \quad (13)$$

$$\theta_s = \text{atan}\left(\frac{\Phi_{s\alpha}}{\Phi_{s\beta}}\right) \quad (14)$$

The electromagnetic torque can be estimated from the estimated fluxes and measured currents, and can be expressed as follows equation 15:

$$Te = \frac{3}{2}p * (\Phi_{s\alpha}I_{s\beta} - \Phi_{s\beta}I_{s\alpha}) \quad (15)$$

From this equation 15, it can be seen that the accuracy of the modulus of the electromagnetic torque depends on the quality of the flux estimation and the accuracy of the stator current measurement.

This corrector is simple in its use. Its role is to maintain the end of the stator flux vector  $\Phi_s$  in a circular band (Casadei *et al.* 2006). The error between



the reference flux and the estimated flux is injected into the two-level hysteresis controller, which generates at its output the Boolean variable  $\Phi$ flux. (Ozturk 2008).

The main purpose of this magnetic torque corrector is to also keep the torque within the limits. The only difference with the flux corrector is that the electromagnetic torque can be positive or negative

depending on the direction of rotation of the machine (Chikhi *et al.* 2010). It is possible to propose two solutions (two-level or three-level corrector). The two-stage corrector allows controlling in one sense of rotation only, while the three-stage corrector can offer to control in case of inversion of the sense of rotation. It is strongly recommended to use in the torque, as the torque can be negative and positive at the same time.

**Table 1.** Vector Vs switching table

Flux	Torque	S1	S2	S3	S4	S5	S6
d $\Phi$ =1	dT=-1	V3	V4	5	V6	V1	V2
	dT=0	V0	V7	V0	V7	V0	V7
	dT=1	V5	V6	V1	V2	V3	V4
d $\Phi$ =0	dT=-1	V2	V3	V4	V5	V6	V1
	dT=0	V7	V0	V7	V0	V7	V0
	dT=1	V6	V1	V2	V3	V4	V5

The switching table is created according to the state of the Boolean variables at the output of the two flux correctors and the electromagnetic torque, as well as the area giving the information on the position of the flux vector (Casadei *et al.* 2006).

PID is widely used in industries to obtain performance on the systems to be controlled. Therefore, its main purpose is to regulate pressure, temperature, speed, flow, e.g. This controller requires a closed loop to control, providing a precise and stable response. The PID controller includes all of the necessary features, including a quick response to changes in the controller input, an increase in the control flag to reduce the error to zero, and reasonable activity inside the control blunder zone to eliminate motions. Subordinate mode improves the model system's soundness and allows for an increase in gain Kp, which increases the controller's reaction time. The mistake flag, the blunder vital, and the mistake subsidiary are the three terms that make up the PID controller's output ( Abdullah and Ali 2020).

Because the integral term is present in the PI controller, the steady state error of speed is zero, making the system extremely accurate. It does not necessitate a high gain like a proportional gain controller does. However, there are certain disadvantages, such as the fact that if a very quick response is sought, the consequence paid is a greater overshoot, which is undesired. In the actual world, the PID controller seems to be a very effective approach to a variety of control problems (Aggarwal *et al.* 2015).

The mathematical form of this controller can be described as follows:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$

With Kp, Ki, and Kd are the parameters to be adjusted for the proportional, integral, and derivative terms, respectively, and are all non-negative (sometimes denoted P, I, and D). but in our case we just need for using PI (proportional and integral) instead of PID.

### FL DTC of IM

In contrast, to a standard controller or a state feedback controller, the fuzzy logic controller (FLC) does not deal with a well-defined mathematical relationship (Saad *et al.* 2017), but instead, it uses inferences with several rules, based on linguistic variables. In this section, we will present the general procedure of designing a fuzzy logic controller.

The basic configuration of a fuzzy logic controller has three main blocks:

- Fuzzyfication.
- Inference.
- Defuzzification.

The roles of each block can be described as follows:

1) The function of the fuzzification block is to establish the value ranges for the membership functions from the values of the input variables and perform a fuzzification function that converts the

input data into suitable linguistic values (Bevrani and Daneshmand 2011).

2) The inference block is the central part of the FLC controller, which has the ability to simulate human decisions and to infer fuzzy control actions using fuzzy implication and inference rules (Mattavelli *et al.* 1997).

3) The defuzzification block also has the function of establishing the value ranges for the membership functions from the values of the output variables and performing a defuzzification that provides a non-fuzzy control signal from the derived fuzzy signal (Abdesselem, 2008). We will go even further to understand the way they operate.

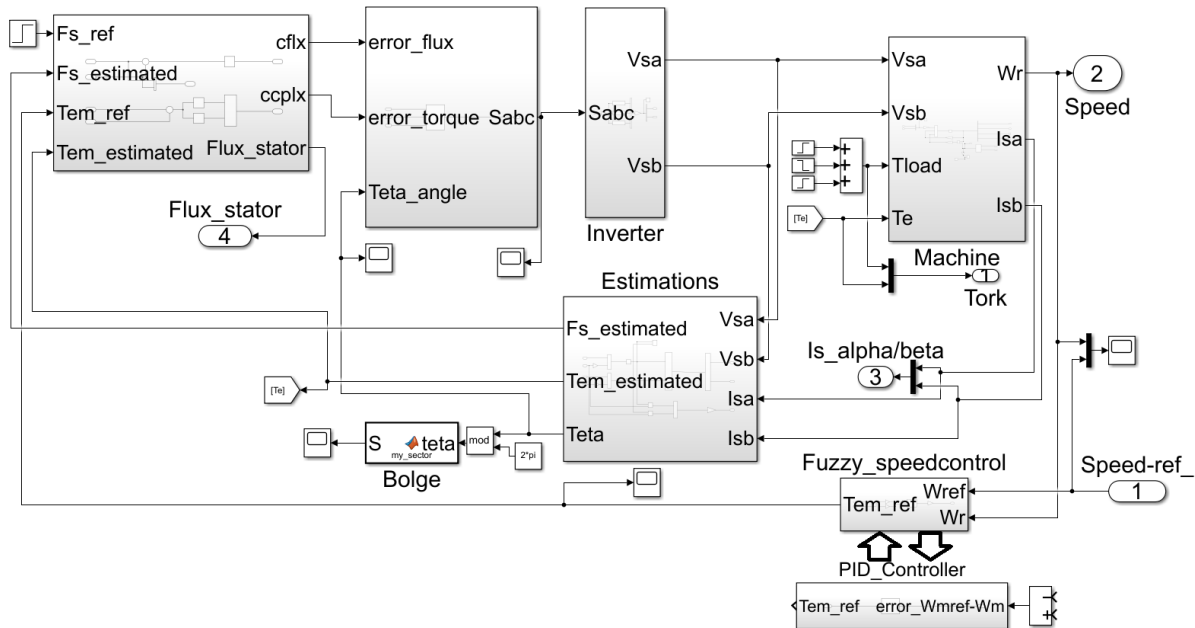


Figure 3. Matlab/Simulink block diagram of FL/PID controller

The fuzzy logic controller (FLC) is a sophisticated control technology that reflects how humans make decisions. Figure 3 shows the modelling of FL controller and PID controller in Simulink environment. Scaling factors, rule-base, and membership functions are the three basic components of the fuzzy logic speed controller (MFs). Pre-processing, processing, and post-processing are the three operational activities that make up FLC's system (Yordanova, 2015). The input variables are turned (fuzzified) into fuzzy variables through input membership functions during the pre-processing stage, which is known as fuzzification. The fuzzy rules are used for providing output fuzzy during the processing. Through output MFs, the fuzzy output variable is turned (defuzzified) towards understandable variable in the post-processing stage (Farah *et al.* 2021).

The scaling factor is a coefficient that is being employed for normalizing the fuzzy variable's value. There are three SFs in the FLC speed controller, speed error ( $G_e$ ), speed error's change ( $G_{de}$ ), and

output's change ( $G_{\Delta T}$ ). The SF values typically pre-estimated depending on the motor's standard test conditions.

The variables representing the error, its change of speed and the change of output can be normalised as follows:

$$e_n = \frac{e}{G_e} \quad (17)$$

$$\Delta e_n = \frac{\Delta e}{G_{de}} \quad (18)$$

$$\Delta T_{em} = \frac{\Delta T_{em}}{G_{\Delta T}} \quad (19)$$

$G_e, G_{ce}, G_{\Delta T}$  are gains that can be a constant or a variable. The right choice of these gains allows you to guarantee stability and improve the dynamic and static performance of the desired control.

The purposed fuzzy control scheme's fuzzy control rules are designed to reduce torque ripples, and the rules can be derived from the investigators' previous experience with the DTC system (Korkmaz *et al.* 2012)

A fuzzy rule-base is a collection of IF-THEN statements that determine the fuzzy output system

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1120626

depending on the input fuzzy states (Czabanski, Jezewski and Leski, 2017). The rule base for FLC speed control having two inputs ( $e_n, \Delta e_n$ ) and the last one is output ( $\Delta T_{em}$ ) described as follows:

If  $e_n$  is A and  $\Delta e_n$  is B then  $\Delta T_{em}$  is C

The fuzzy controller is intended to improve study findings. To develop a fuzzy logic controller, some logical conditions must be understood.  $du$  is derived from the control error ( $e$ ) and control error change input values ( $de$ ). The error ( $e$ ) is calculated using the reference and output signals. The difference

between two consecutive errors is known as the change of error. If the fuzzy logic membership is to be constructed, three or five triangles can be used. The membership of three triangles can be used to define N is negative, Z is zero, and P is positive. The membership of seven triangles can be defined as NL: negative large, NM: negative medium, NS: negative small, Z: zero, PS: positive small, PM: positive medium, PB: positive big.(Can and Sayan 2016) A rule base  $7 \times 7$  will be illustrated in the table 2 shown below:

**Table 2.** Rule base  $7 \times 7$

$e_n \backslash \Delta e_n$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZE
NM	NL	NL	NL	NM	NS	ZE	PS
NS	NL	NL	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL
PM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL	PL
PL	ZE	PS	PM	PL	PL	PL	PL

The range of the fuzzy variable is represented graphically by membership functions (MFs). Based on the amount of MFs utilized, it breaks the range into distinct widths. There are various sorts of MFs in terms of shape, namely triangular, trapezoidal, sigmoidal, Gaussian, Z-shape, and S-shape MFs. Due to their great precision and low processing complexity, triangular and trapezoidal MFs are the most often utilized MFs in FLC speed control. Just triangular MFs will indeed be addressed in this study, and the centroid algorithm will be employed as a fuzzification tool.  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ , and  $7 \times 7$  membership functions are the three most common triangle membership function sizes. The shape of these MFs will be as illustrated in Figure 4. If their breadth and

location are symmetrically designed. The breadth and membership function's position are used symmetrical, with the width between each membership function being evenly given. The membership function's existing shape is referred to as standard membership functions, but modifying the breadth and membership function's peak location effectively can improve the drive system's performance (Farah *et al.* 2021).

Parameter values of the motor used in the simulation are given in the table in Appendix.

Switching states and output voltage expressions of the inverter is shown in Table 3.

**Table 3.** Switching states and output voltage expressions of the inverter

Vector	$s_a$	$s_b$	$s_c$	$v_{\alpha}$	$v_{\beta}$
$v_0$	0	0	0	0	0
$v_1$	1	0	0	$-\frac{2}{3}v_{dc}$	0
$v_2$	1	1	0	$\frac{1}{3}v_{dc}$	$\frac{1}{3}v_{dc}$
$v_3$	0	1	0	$-\frac{1}{3}v_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}v_{dc}$
$v_4$	0	1	1	$-\frac{2}{3}v_{dc}$	0
$v_5$	0	0	1	$-\frac{1}{3}v_{dc}$	$-\frac{1}{\sqrt{3}}v_{dc}$
$v_6$	1	0	1	$\frac{1}{3}v_{dc}$	$-\frac{1}{\sqrt{3}}v_{dc}$
$v_7$	1	1	1	0	0

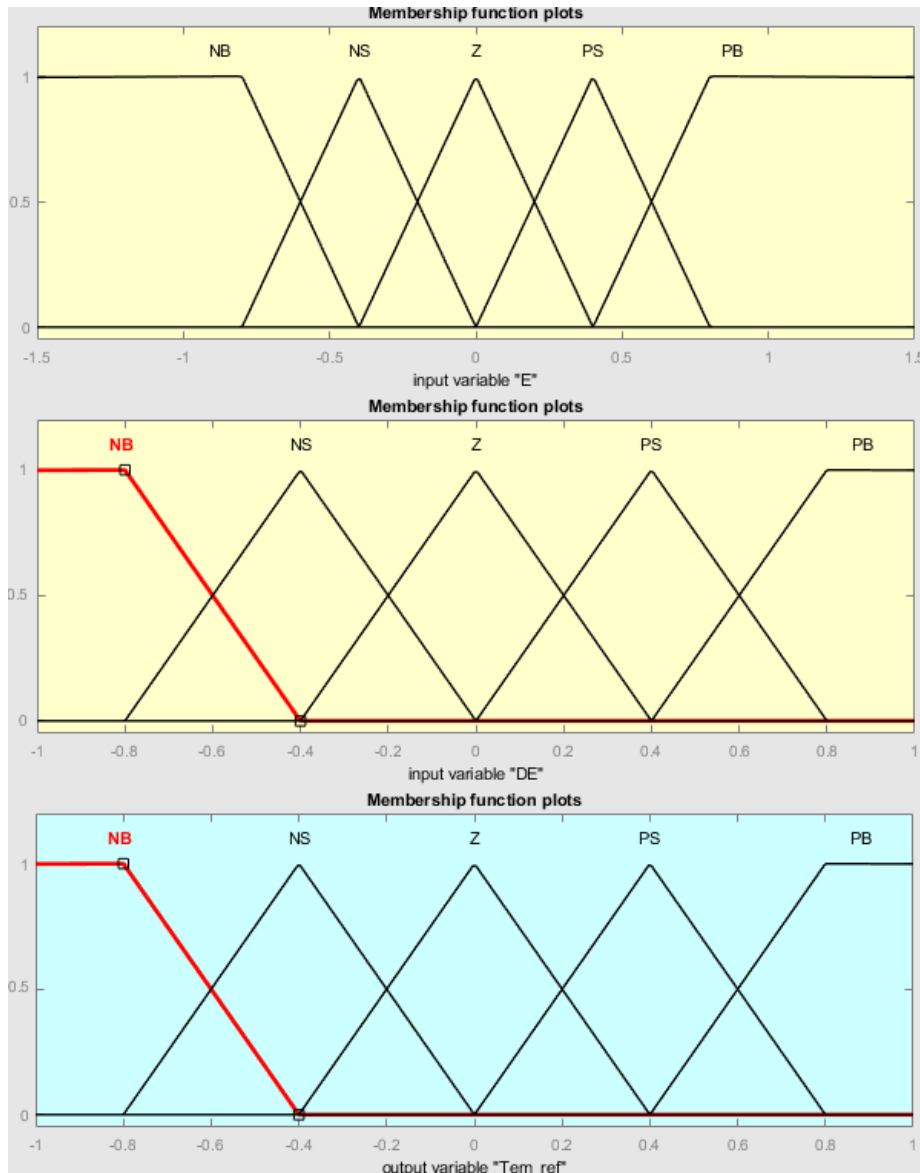


Figure 4. Triangle membership functions for all variables

**RESULTS AND DISCUSSION**

The direction of inversion of the motor was also carried out in order to get as much information as possible about the response to this situation. They both follow the same desired trajectory but with a slight difference in response. To begin with, we notice that at the level of the response, the PID gives a better response contrary to the fuzzy logic, which on the other hand is satisfied, with a less performing response. Indeed, when we focus on the exceeding,

the PID slightly exceeds the set point, whereas the fuzzy logic tries as fast as possible to reach the set point. As in Figure 5, Torque’s response with fuzzy logic and PID controller are shown.

As in Figure 6, when there has been a reversal of the direction of rotation at time t=4.5 s, the fuzzy logic gives a good impression in response unlike the PID and reaching the reference approximately.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1120626

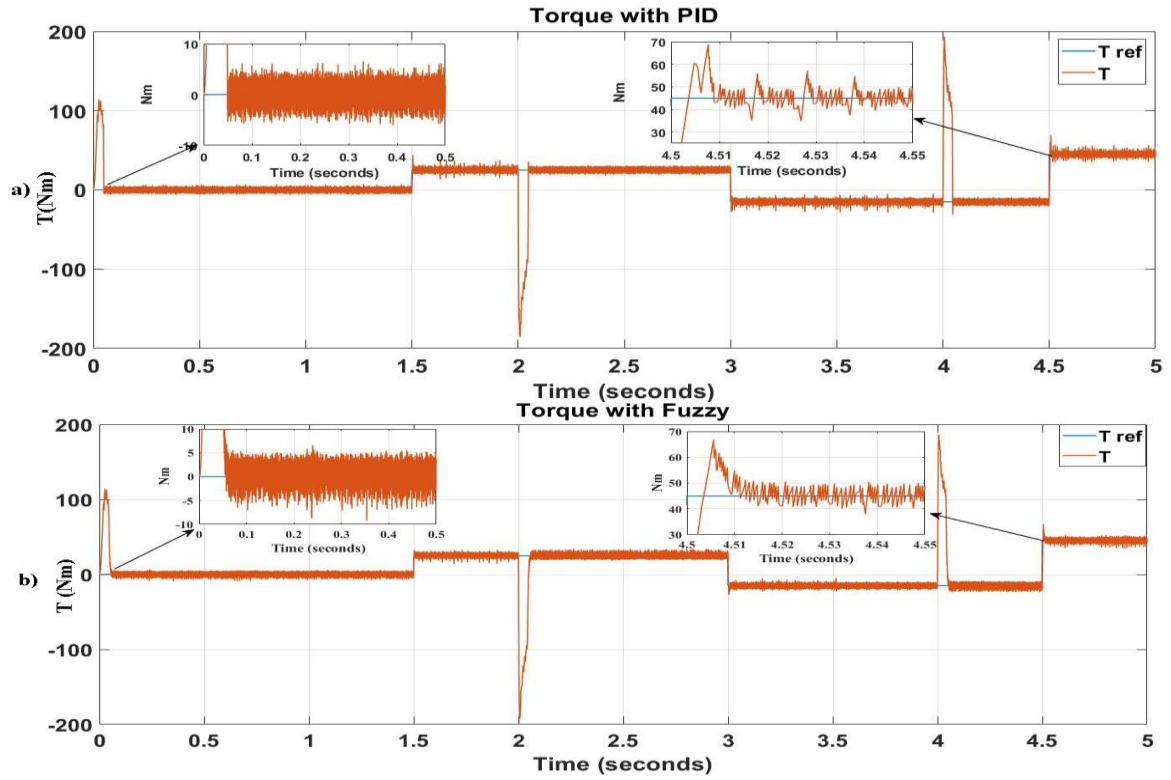


Figure 5. Torque's response with fuzzy logic (a) and PID controller (b)

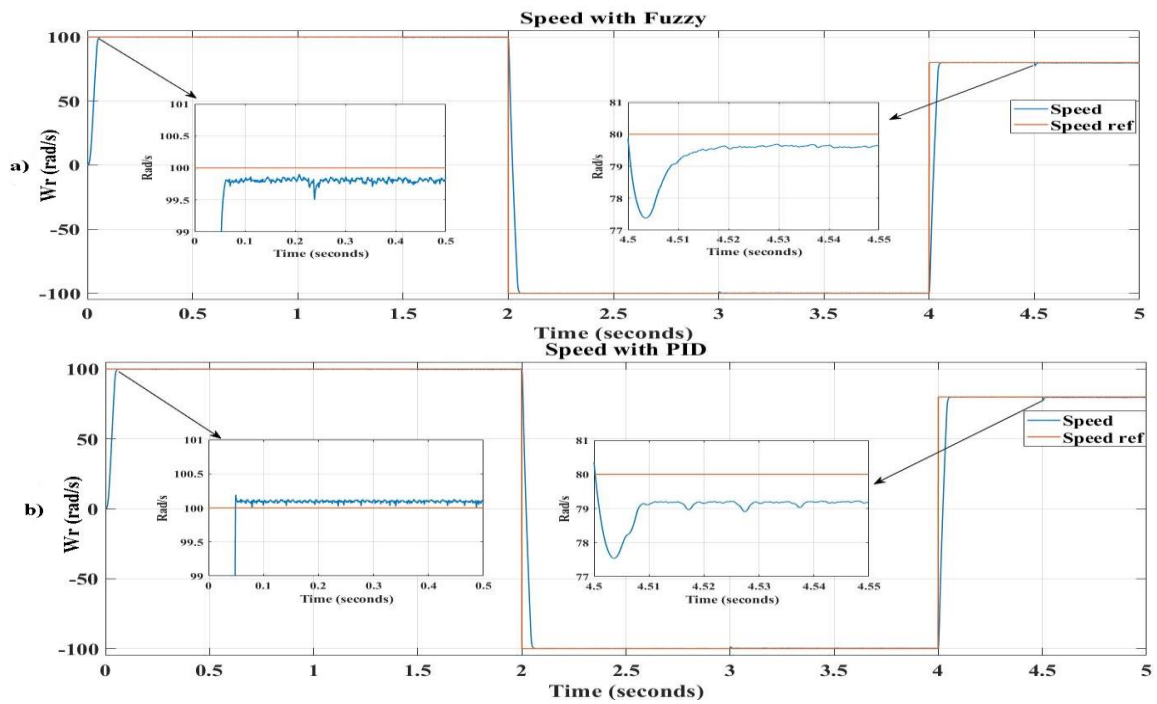


Figure 6. Speed's response with fuzzy logic (a) and PID controller (b)



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1120626

**CONCLUSION**

The control of the main parameters of the asynchronous machine, namely the stator flux and the electromagnetic torque, is achieved by direct selection of the output voltage vectors of the inverter from a switching table. These choices are made in such a way that they can keep both quantities in a hysteresis band in the range of their reference values.

However, the existence of hysteresis controllers in the conventional direct torque control strategy generates torque and flux oscillations due to the bandwidth of the hysteresis controllers. Thus, since our study is mainly concerned with the minimization of the ripple of the electromagnetic torque and stator flux of the direct torque control applied to the three-phase induction machine.

In the previous section, the principles of fuzzy logic control and PID controller have been introduced and our choice of these methods for controlling asynchronous machines has been justified. Then, the design aspects of a fuzzy FLC controller for the speed control and PID controllers loop were presented. After selecting the Simulink simulation method and confirming its efficiency, we used this simulation under several operating conditions in order to rigorously exploit the different results that we obtained.

We can confirm according to the results that fuzzy logic offered a better result than PI controller. If we hope to get a good impression we can suggest PI-fuzzy to improve the obtained result.

**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.

**APPREHENDIX**

Rs	1.2 ohm
Rr	1.8 ohm
Ls	0.1554 H
Lr	0.1584 H
Lm	0.15 H
J	0.071 kgm <sup>2</sup>
F	0.0001 N.m.s/rad
P	2
E	240 V

Ki	2.5
Kp	52
Σ	$1 - \frac{Lm^2}{Ls * Lr}$
Ts	$\frac{Ls}{Rs}$
Tr	$\frac{Lr}{Rr}$
a <sub>1</sub>	$\frac{1}{\sigma Ts} + \frac{1 - \sigma}{\sigma Tr}$
a <sub>2</sub>	$\frac{Lm}{\sigma Lr Ls Tr}$
a <sub>3</sub>	$\frac{Lm}{\sigma Lr Ls}$
a <sub>4</sub>	$\frac{Lm}{Tr}$
a <sub>5</sub>	$-\frac{1}{Tr}$

**REFERENCES**

Abdesselem, C. (2008). Commande directe du couple du moteur asynchrone-apport de la logique floue. Thèse de maîtrise, Université de Batna, 105 pages, Algerie.

Abdullah, A. N. and Ali, M. H. (2020). Direct torque control of IM using PID controller. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 10(1), 617.

Aggarwal, A., Rai, J. N. and Kandpal, M. (2015). Comparative Study of Speed Control of Induction Motor Using PI and Fuzzy Logic Controller. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), 10(2), 43-52.

Bevrani, H. and Daneshmand, P. R. (2011). Fuzzy logic-based load-frequency control concerning high penetration of wind turbines. IEEE systems journal, 6(1), 173-180.

Brown, D. W., Abbas, M. and Vachtsevanos, G. J. (2011). Turn-off time as an early indicator of insulated gate bipolar transistor latch-up. IEEE Transactions on Power Electronics, 27(2), 479-489.

Can, E. and Sayan, H. (2016). PID and fuzzy controlling three phase asynchronous machine by low level DC source three phase inverter. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, 23(3).

Casadei, D., Serra, G., Tani, A. and Zarri, L. (2006). Assessment of direct torque control for induction motor drives. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 237-254.

Cheok, A. D. and Fukuda, Y. (2002). A new torque and flux control method for switched reluctance motor


Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1120626

- drives. IEEE Transactions on Power Electronics, 17(4), 543-557.
- Chikhi, A., Chikhi, K. and Belkacem, S. (2010). Induction Motor Direct Torque Control–Fuzzy Logic Contribution. IU-Journal of Electrical & Electronics Engineering, 10(2), 1207-1212.
- El-Shimy, M. E. and Zaid, S. A. (2016). Fuzzy PID controller for fast direct torque control of induction motor drives. Journal of Electrical Systems, 12(4), 687-700.
- Farah, N., Talib, H. N. and Isa, Z. (2021). Fuzzy membership functions tuning for speed controller of induction motor drive: Performance improvement. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 23(3), 1258-1270.
- Ildarabadi, R. and Ahmadi, A. (2017). Simulation Study of Space Vector Pulse Width Modulation Feeding a Three Phase Induction Motor.
- Korkmaz, F., Cakir, M. F. and Topaloglu, I. (2012). Fuzzy based stator flux optimizer design for direct torque control. arXiv preprint arXiv:1212.0160.
- Korkmaz, F., Topaloğlu, İ. and Mamur, H. (2015). Fuzzy logic based direct torque control of induction motor with space vector modulation. arXiv preprint arXiv:1508.01345.
- Mattavelli, P., Rossetto, L. and Tenti, P. (1997). General-purpose fuzzy controller for DC-DC converters. IEEE transactions on Power Electronics, 12(1), 79-86.
- Mustapha E., Saad M. and Quentin C. (2022). Twelve sectors DTC strategy of IM for PV water pumping system. Materials Today: Proceedings. 51(7). 2081-2090.
- Ozturk, S. B. (2008). Direct torque control of permanent magnet synchronous motors with non-sinusoidal back-emf. Phd Thesis, Texas A&M University, 195 pages, United States.
- Patel, C., Rajeevan, P. P. and Kazmierkowski, M. P. (2011). Fast direct torque control of an open-end induction motor drive using 12-sided polygonal voltage space vectors. IEEE Transactions on Power Electronics, 27(1), 400-410.
- Saad, B. and Goléa, A. (2017). Direct field-oriented control using fuzzy logic type-2 for induction motor with broken rotor bars. Advances in Modelling & Analysis C, 72(4), 203-212.
- Said M., Aziz D., Najib E. O. and Mohammed E. M. (2022). Enhancement of the Direct Torque Control by using Artificial Neuron Network for a Doubly Fed Induction Motor. Intelligent Systems with Applications. 13, 200060.
- Soukaina E. D., Loubna L., Najib E. O. and Mustapha A. L. (2021). Sensorless fuzzy direct torque control of induction motor with sliding mode speed controller. Computers & Electrical Engineering, 96, 107490.
- Yordanova, S. (2015). Intelligent approaches to real time level control. International Journal of Intelligent Systems and Applications, 7(10), 19.

## RbH Molekülünün $X^1\Sigma^+$ Durumu için Dönme-Titreşim Enerji Seviyeleri

Hilmi Yanar

Girne Amerikan Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Biyofizik Anabilim Dalı, Girne, KKTC

hilmiyanar@gau.edu.tr 

Makale gönderme tarihi:31.03.2023, Makale kabul tarihi:04.05.2023

### Öz

Bu çalışmada genel moleküler (GM) potansiyel ve geliştirilmiş genelleştirilmiş Pöschl–Teller (GGPT) potansiyeli için elde edilmiş enerji özdeğer denklemleri kullanılarak,  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün deneysel (gözlenen) titreşim enerji seviyelerini modelleyebilecek en iyi potansiyel enerji fonksiyonu belirlenmiştir. Ayrıca, bu potansiyel enerji fonksiyonu ve bağlı durumların tartışılmasında merkezci terime uygulanabilecek en uygun yaklaşım olan Pekeris tipi yaklaşım ele alınarak  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün en olası dönme-titreşim enerjileri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İki atomlu moleküller, titreşim enerjileri, genel moleküler potansiyel, RbH molekülü, Pöschl–Teller potansiyeli

## Rotational-Vibrational Energy Levels for the $X^1\Sigma^+$ State of RbH Molecule

### Abstract

In this study, the more suitable potential energy function to model the experimental (observed) vibrational energy levels of the  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molecule has been determined by using the energy eigenvalue equations obtained for the general molecular (GM) potential and the improved generalized Pöschl–Teller (IGPT) potential. In addition, by considering suitable potential energy function and the Pekeris-type approximation, which is the most appropriate approach to the centrifugal term in the discussion of bound states, the more accurate rotational-vibration energies of the  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molecule have been found.

**Keywords:** Diatomic molecules, vibrational energies, general molecular potential, RbH molecule, Pöschl–Teller potential

### GİRİŞ

İki atomlu moleküllerin dönme ve titreşim enerjilerini teorik olarak hesaplayabilmek için kuantum mekaniğinin parçacık denklemleri olan Schrödinger, Klein-Gordon ve Dirac denklemlerinden birinin bir potansiyel enerji fonksiyonu ve merkezci terim varlığında çözümlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Teorik olarak elde edilen titreşim enerji seviyelerinin deneysel verilerle uyumlu olabilmesi için kullanılan potansiyel enerji fonksiyonunun ve merkezci terime uygulanan yaklaşımın seçimi büyük önem taşımaktadır. Potansiyel enerji fonksiyonlarının iki atomlu molekülleri modellemedeki başarıları ele alınan moleküle bağlı olarak değişmektedir (Zhang, Liu, Zhang, Zhou ve Jia, 2012; Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016). Örneğin,  $Scl(X^1\Sigma^+)$  molekülünü en iyi Morse potansiyeli açıklayabilirken (Yanar, Aydoğdu

ve Saltı, 2016; Du, Guo ve Jia, 2014),  $Na_2(5^1\Delta_g)$  molekülünü değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016; Ocak, Yanar, Saltı ve Aydoğdu, 2018; Kisoglu, Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2019),  $^7Li_2(a^3\Sigma_u^+)$  molekülünü ise geliştirilmiş Manning-Rosen potansiyeli (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016; Liu, Zhang ve Jia, 2013) iyi biçimde modelleyebilmektedir. Kullanılan potansiyel enerji fonksiyonunun öneminin yansira, parçacık denklemlerinin çözülebilmesi için merkezci terime uygulanan yaklaşımın biçimi de kritik öneme sahiptir. Literatürde iki atomlu moleküllerin dönme-titreşim enerjilerini elde edebilmek için merkezci terime yaygın olarak Greene-Aldrich (Greene ve Aldrich, 1976) ve Pekeris (Pekeris, 1934) yaklaşımları uygulanmıştır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, moleküllerin bağlı durumlarının

açıklanmasında Pekeris-tipi yaklaşımların Greene-Aldrich yaklaşımından daha uygun olduğunu göstermiştir (Mustafa, 2015a; Mustafa, 2015b; Yanar, Taş, Saltı ve Aydogdu, 2020; Yanar, 2022a).

$RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün titreşim enerjileri daha önce farklı çalışmalarda Morse potansiyeli (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020), değiştirilmiş hiperbolik tip potansiyel (Eyube, Notani ve Dikko, 2022), değiştirilmiş hiperbolik engel potansiyeli (Ezzine, Hachama ve Diaf, 2021), geliştirilmiş Tietz potansiyeli ile aynı olan geliştirilmiş genelleştirilmiş Mobius kare potansiyeli (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020), geliştirilmiş Pöschl-Teller potansiyeli (Eyube, Bitrus ve Jabil, 2021) ve GGPT potansiyeli (Yanar, 2022b) kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmalardan Morse, geliştirilmiş Pöschl-Teller, değiştirilmiş hiperbolik tip ve GGPT potansiyellerinin  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün titreşim enerjilerini modellemede benzer başarılar gösterdikleri görülmüştür. Ayrıca, değiştirilmiş hiperbolik engel potansiyeli ile iki atomlu moleküller için geliştirilmiş Tietz potansiyeliyle aynı olan geliştirilmiş genelleştirilmiş Mobius kare potansiyelinin  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünü açıklamada benzer başarı oranları sergiledikleri bulunmuştur (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020; Eyube, Notani ve Dikko, 2022; Ezzine, Hachama ve Diaf, 2021; Eyube, Bitrus ve Jabil, 2021; Yanar, 2022b). Ancak, bildiğimiz kadarıyla geliştirilmiş Rosen-Morse, geliştirilmiş Manning-Rosen ve değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyelleri bu molekül için ele alınmamış; dolayısıyla  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünü en iyi modelleyebilecek potansiyel enerji fonksiyonu henüz belirlenmemiştir. Ayrıca, yapılan bu çalışmalarda yalnızca geliştirilmiş genelleştirilmiş Mobius kare potansiyeli kullanılarak molekülün dönme enerjileri tartışılmıştır; fakat  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülü için en uygun potansiyel enerji fonksiyonu kullanılmadığından (Okorie, Ikot, & Chukwuocha, 2020)'de bulunan dönme-titreşim enerjileri  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün en olası dönme-titreşim enerjileri değildir. Bu değerlendirmeler ışığında, sunulan çalışmada  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünü modelleyebilecek en uygun potansiyel enerji fonksiyonunu tespit etmek ve bu potansiyel ile Pekeris-tipi yaklaşım altında elde edilen enerji özdeğer denklemini kullanarak ilgili molekülün en olası dönme-titreşim enerjilerini teorik olarak hesaplamak amaçlanmıştır.

Dört kesimden oluşan bu çalışmada; Kesim 2'de dönme-titreşim enerjilerinin hesaplanması için kullanılacak enerji özdeğer denklemleri verilmiştir. Kesim 3'te  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün titreşim enerji seviyeleri farklı potansiyel enerjilerin varlığında elde edilip deneysel verilerle ve literatürde daha önceden elde edilmiş teorik verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, tespit edilen en uygun potansiyel ile Pekeris-tipi yaklaşım varlığında elde edilmiş enerji özdeğer denklemleri kullanılarak  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün en olası titreşim-dönme enerji seviyeleri bulunmuştur. Son kesimde ise elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

$RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün titreşim enerjilerini bulmak için GM (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016) ve GGPT (Yanar, Taş, Saltı ve Aydogdu, 2020) potansiyelleri kullanılarak elde edilen enerji özdeğer denklemleri kullanılmıştır. GM potansiyelinin kullanılmasının nedeni iki atomlu molekülleri iyi biçimde modelleyebildiği bilinen Morse (Morse, 1929), geliştirilmiş Rosen-Morse (Wang, Liu, Zhang, Cao ve Jia, 2012), geliştirilmiş Tietz (Jia, ve diğerleri, 2012), geliştirilmiş Manning-Rosen (Wang, Zhang, Jia ve Liu, 2012) ve değiştirilmiş Rosen-Morse (Zhang, Liu, Zhang, Zhou ve Jia, 2012) olmak üzere birçok potansiyel enerji fonksiyonunun iki atomlu bir molekülü modellemedeki başarısını bulmak için ayrı ayrı diferansiyel denklemler çözülmesine gerek kalmamaktadır. GM potansiyeli kullanılarak iyi bilinen diğer potansiyel enerji fonksiyonlarının modelleme başarısı kolayca bulunabilmektedir. Diğer taraftan GM potansiyeli, GGPT potansiyeline indirgenememektedir, bu nedenle daha önceki bir çalışmada (Yanar, Taş, Saltı ve Aydogdu, 2020) GGPT için elde ettiğimiz enerji özdeğer denklemleri de bu çalışmada GGPT potansiyelinin  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün titreşim enerjisini açıklamadaki başarı oranını tespit etmek için ele alınmıştır.

GM potansiyeli aşağıdaki biçimde verilmektedir (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016):

$$V_{GM}(r) = \frac{A - Be^{-\alpha(r-r_e)} + \tilde{q}[C - De^{-\alpha(r-r_e)}]^2}{[1 - qe^{-\alpha(r-r_e)}]^2} \quad (1)$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1274351

Burada  $A, B, C, D, \alpha, \tilde{q}$  ve  $q$  incelenen moleküle bağlı olarak ayarlanabilen potansiyel parametrelerdir.  $r_e$  ise iki atom arasındaki denge bağ uzunluğudur. İki atomlu moleküllerin çalışılabilmesi için GM potansiyelinin parametrelerinin moleküler sabitler cinsinden yazılması gerekmektedir. Bu nedenle aşağıdaki koşullar dikkate alınmaktadır (Varshni, 1957):

$$\left. \frac{dV(r)}{dr} \right|_{r=r_e} = 0,$$

$$V(r \rightarrow \infty) - V(r_e) = D_e, \quad (2)$$

$$\left. \frac{d^2V(r)}{dr^2} \right|_{r=r_e} = 4\pi^2\mu c^2\omega_e^2.$$

Burada  $c$  ışık hızının büyüklüğü iken,  $\mu$  iki atomlu bir moleküler sistemin indirgenmiş kütesidir.  $D_e$  ve  $\omega_e$  ise sırasıyla ayrışma enerjisini ve harmonik titreşim dalga boyunun tersini ifade etmektedir. Bu koşulların kullanılması, GM potansiyelinin parametreleri ile moleküler sabitler arasında aşağıdaki ilişkileri verir (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016)

$$A + \tilde{q}C^2 = \tilde{q}D^2 = (B + 2\tilde{q}CD)/2 = D_e \quad (3)$$

$$\alpha = \pm\pi c(1 - q) \sqrt{\frac{2\mu\omega_e^2}{D_e}} \quad (4)$$

GM potansiyeli  $q$  parametresinin alacağı değere bağlı olarak literatürde yer alan birçok potansiyele indirgenebilmekte böylece birçok iki atomlu molekülü başarıyla modelleyebilmektedir. Örneğin,  $q = -de^{-\alpha r_e}$  için geliştirilmiş Tietz potansiyeline,  $q \rightarrow 0$  limitinde Morse potansiyeline,  $q = -e^{-\alpha r_e}$  için geliştirilmiş Rosen-Morse potansiyeline,  $q = e^{-\alpha r_e}$  için geliştirilmiş Manning-Rosen potansiyeline,  $q = -e^{\alpha(r_{ij}-r_e)}$  olması durumunda ise değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeline indirgenmektedir (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016). Burada  $r_{ij}$  iki atomun iç kabuk yarıçaplarının bir ölçüsüdür ve  $r_{ij} = r_e - \sqrt{\frac{KD_e}{4\pi^2\mu c^2\omega_e^2}}$  biçiminde verilmektedir.  $K$  parametresi bir sabit olup değeri yaklaşık olarak  $K = 4$  alınmaktadır (Frost & Musulin, 1954).  $q$  parametresinin  $q = -de^{-\alpha r_e}$ ,  $q =$

$-e^{-\alpha r_e}$ ,  $q = e^{-\alpha r_e}$  veya  $q = -e^{\alpha(r_{ij}-r_e)}$  eşitliklerinden biri olması durumunda Denklem (4)'deki  $\alpha$  parametresi  $z = W(z)e^{W(z)}$  bağıntısını sağlayan Lambert fonksiyonu  $W$  cinsinden elde edilir (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016; Ocak, Yanar, Saltı ve Aydoğdu, 2018; Zhang, Liu, Zhang, Zhou ve Jia, 2012).

GM potansiyeli varlığında ve merkezci terime Pekeris-tipi yaklaşımın uygulanması durumunda Schrödinger denkleminin çözümünden elde edilen enerji özdeğer denklemi aşağıdaki biçimde bulunur (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016; Ocak, Yanar, Saltı ve Aydoğdu, 2018):

$$E_{nj} = \frac{j(j+1)\hbar^2 C_0}{2\mu} + \frac{D_e}{q^2} - \alpha^2 \hbar^2 \left[ \frac{\frac{2\mu D_e(1-\frac{1}{q^2}) + j(j+1)(C_1+C_2)}{\alpha^2 \hbar^2}}{2 \left( \frac{2n+1}{2} \pm \sqrt{\frac{2\mu D_e(1-\frac{1}{q^2})^2}{\alpha^2 \hbar^2} + \frac{j(j+1)C_2 + \frac{1}{4}}{\alpha^2}} \right)} - \frac{1}{2} \left( \frac{2n+1}{2} \pm \sqrt{\frac{2\mu D_e(1-\frac{1}{q^2})^2}{\alpha^2 \hbar^2} + \frac{j(j+1)C_2 + \frac{1}{4}}{\alpha^2}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Burada  $C_0, C_1$  ve  $C_2$ , Schrödinger denklemini çözebilmek için merkezci terime uygulanan ve Denklem (6)'da verilen Pekeris-tipi yaklaşımın (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016) katsayılarıdır:

$$\frac{1}{r^2} \approx C_0 + \frac{C_1}{1 - qe^{-\alpha(r-r_e)}} + \frac{C_2}{[1 - qe^{-\alpha(r-r_e)}]^2} \quad (6)$$

Bu katsayılar, Denklem (6)'da verilen eşitliğin her iki tarafındaki terimlerin  $r = r_e$  civarında seriye açılmasıyla aşağıdaki biçimde elde edilirler (Yanar, Aydoğdu ve Saltı, 2016):

$$C_0 = \frac{(3-\alpha r_e) - 2(3+\alpha r_e)q + (3+3\alpha r_e + \alpha^2 r_e^2)q^2}{\alpha^2 r_e^4 q^2},$$

$$C_1 = \frac{2(q-1)^2(-3+\alpha r_e + 3q + 2\alpha q r_e)}{\alpha^2 r_e^4 q^2}, \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{(q-1)^3[3(q-1) + (q+1)\alpha r_e]}{\alpha^2 r_e^4 q^2}.$$



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1274351

RbH( $X^1\Sigma^+$ ) molekülünü tartışmak için kullanılacak bir diğer enerji özdeğer denklemi ise GGPT potansiyeli varlığında Schrödinger denkleminin çözümünden elde edilen özdeğer denklemdir. GGPT

potansiyeli ve bu potansiyel varlığında Schrödinger denkleminde elde edilen enerji özdeğer bağıntısı sırasıyla Denklem (8) ve (9)'da verilmiştir (Yanar, Taş, Saltı, & Aydogdu, 2020):

$$V_{GGPT}(r) = D_e + D_e \frac{[1 + \cosh^2(ar_e) - 2\cosh(ar_e)\cosh(ar)]}{\sinh^2(ar)} \quad (8)$$

$$E_{nj} = \frac{j(j+1)\hbar^2(\widetilde{C}_0 + \widetilde{C}_2)}{2\mu} + D_e - \frac{\alpha^2\hbar^2}{2\mu} \left[ \frac{2n+1}{2} - \sqrt{\frac{1}{16} + \frac{j(j+1)(\widetilde{C}_2 - \widetilde{C}_1)}{4\alpha^2} + \frac{\mu D_e[1 + \cosh^2(ar_e) + 2\cosh(ar_e)]}{2\alpha^2\hbar^2}} \right. \\ \left. + \sqrt{\frac{1}{16} + \frac{j(j+1)(\widetilde{C}_2 + \widetilde{C}_1)}{4\alpha^2} - \frac{\mu D_e[-1 - \cosh^2(ar_e) + 2\cosh(ar_e)]}{2\alpha^2\hbar^2}} \right]^2 \quad (9)$$

Burada  $\alpha = \pi c \sqrt{\frac{2\mu\omega_e^2}{D_e}}$  olup,  $\widetilde{C}_0$ ,  $\widetilde{C}_1$  ve  $\widetilde{C}_2$  katsayıları GGPT potansiyeli varlığındaki Schrödinger denklemini çözebilmek için merkezci terime uygulanan

$$\frac{1}{r^2} \approx \widetilde{C}_0 + \widetilde{C}_1 \frac{\cosh ar}{\sinh^2 ar} + \widetilde{C}_2 \frac{\cosh^2 ar}{\sinh^2 ar} \quad (10)$$

biçimindeki Pekeris-tipi yaklaşımın katsayılarıdır. Bu katsayıların açık ifadeleri eşitliğin her iki tarafındaki terimlerin  $r = r_e$  civarında seriye açılmasıyla aşağıdaki biçimde bulunmuştur (Yanar, Taş, Saltı ve Aydogdu, 2020):

$$\widetilde{C}_0 = \frac{-3+2\alpha^2 r_e^2 - 3 \cosh 2ar_e + ar_e(6 \coth ar_e + \sinh 2ar_e)}{2\alpha^2 r_e^4} \\ \widetilde{C}_1 = \frac{-6 \cosh ar_e + 2ar_e \operatorname{csch} ar_e(2 + \cosh 2ar_e)}{\alpha^2 r_e^4} \quad (11) \\ \widetilde{C}_2 = \frac{9+3 \cosh 2ar_e - 12ar_e \coth ar_e \cosh^2 ar_e + 5ar_e \sinh 2ar_e}{2\alpha^2 r_e^4}$$

Denklem (8)'de verilen GGPT potansiyelinin iki atomlu moleküler yapıların titreşim-dönme enerjilerini açıklayabilme başarısının geliştirilmiş Pöschl-Teller potansiyeli ile aynı olduğu daha önceki

bir çalışmada gösterilmiştir (Yanar, Taş, Saltı ve Aydogdu, 2020). Bu durumda Denklem (1) ile birlikte Denklem (8) iki atomlu moleküler yapıları açıklayabilen literatürdeki birçok potansiyel enerji fonksiyonunu içermektedir. Bir sonraki kesimde, bu potansiyellerin varlığında elde edilen enerji özdeğer denklemleri (5) ve (9), RbH( $X^1\Sigma^+$ ) molekülünü en iyi modelleyebilen potansiyel enerji fonksiyonunun belirlenmesi için kullanılmıştır.

## BULGULAR

GM ve GGPT potansiyelleri varlığında bulunan enerji özdeğer denklemleri (5) ve (9) ayrı ayrı kullanılarak RbH( $X^1\Sigma^+$ ) molekülünün titreşim enerji seviyeleri hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir. RbH( $X^1\Sigma^+$ ) molekülü için hesaplamada kullanılan deneysel moleküler sabitler şu biçimdedir (Hsieh, Yang, Tam, Verma, & Stwalley, 1980):  $D_e = 14\,580\text{ cm}^{-1}$ ,  $r_e = 2.3673\text{ \AA}$ ,  $\mu = 0.9961\text{ akb}$  ve  $\omega_e = 937.188\text{ cm}^{-1}$ . Molekülü en iyi modelleyebilecek potansiyel enerji fonksiyonunu belirlemek için ortalama mutlak yüzde sapma (OMYS) hesabı yapılmıştır:

$$OMYS = \frac{100}{N} \sum_{n=0}^N \left| \frac{E_n^{\text{gözlenen}} - E_n}{E_n^{\text{gözlenen}}} \right| \quad (12)$$

Morse, geliştirilmiş Rosen-Morse, değiştirilmiş Rosen-Morse, geliştirilmiş Manning-Rosen,

**Tablo 1.**  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün titreşim enerjileri ( $cm^{-1}$ )

$n$	Gözlenen <sup>a</sup>	$E_n^b$	$E_n^c$	$E_n^d$	$E_n^e$	$E_n^f$	$E_n^g$	$E_n^h$
0	465.32	464.88	464.80	464.70	464.75	464.83	465.00	464.87
1	1374.39	1371.91	1374.19	1376.17	1366.92	1371.75	1372.07	1371.93
2	2255.74	2248.84	2255.54	2261.54	2234.63	2248.40	2249.01	2248.88
3	3109.79	3095.75	3108.66	3120.43	3068.43	3094.81	3095.84	3095.70
4	3936.95	3912.41	3933.31	3952.44	3868.85	3911.00	3912.54	3912.41
5	4737.66	4699.03	4729.27	4757.18	4636.41	4696.97	4699.12	4698.99
6	5512.31	5455.50	5496.30	5534.23	5371.64	5452.74	5455.58	5455.45
7	6261.34	6181.81	6234.19	6283.15	6075.01	6178.33	6181.92	6181.79
8	6985.17	6878.06	6942.70	7003.50	6747.03	6873.76	6878.14	6878.01
9	7684.20	7544.16	7621.57	7694.82	7388.16	7539.03	7544.23	7544.11
10	8358.85	8180.13	8270.58	8356.64	7998.88	8174.17	8180.21	8180.09
11	9009.56	8785.97	8889.48	8988.46	8579.63	8779.19	8786.06	8785.95
12	9636.73	9361.75	9478.02	9589.80	9130.86	9354.11	9361.80	9361.69

<sup>a</sup> (Hsieh, Yang, Tam, Verma, & Stwalley, 1980)<sup>b</sup>  $\lim_{q \rightarrow 0} V_{GMP} = V_{Morse}$  durumunda elde edilen enerjiler<sup>c</sup> GM potansiyelinin  $q = -e^{-\alpha r_e}$  değeri için (Geliştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli) Denklem (5) kullanılarak elde edilen enerjiler<sup>d</sup> GM potansiyelinin  $q = -e^{\alpha(r_{ij}-r_e)}$  değeri için (Değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli) Denklem (5) kullanılarak elde edilen enerjiler<sup>e</sup> GM potansiyelinin  $q = e^{-\alpha r_e}$  değeri için (Geliştirilmiş Manning-Rosen potansiyeli) Denklem (5) kullanılarak elde edilen enerjiler<sup>f</sup> GM potansiyelinin  $q = -de^{-\alpha r_e}$  değeri için (Geliştirilmiş Tietz potansiyeli) Denklem (5) kullanılarak elde edilen enerjiler<sup>g</sup> Denklem (9) kullanılarak elde edilen enerjiler<sup>h</sup> (Eyube, Bitrus ve Jabil, 2021; Eyube, Notani ve Dikko, 2022)

geliştirilmiş Tietz, GGPT ve geliştirilmiş Pöschl-Teller potansiyelleri varlığında Denklem (5) ile Denklem (9) kullanılarak elde edilen ve Tablo 1'de verilen enerji özdeğerlerinin gözlenen verilerden ortalama mutlak yüzde sapmaları sırasıyla 1.20, 0.51, 0.27, 2.61, 1.25, 1.19 ve 1.20 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyelinin  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünü diğer potansiyel enerji fonksiyonlarına göre çok daha iyi açıklayabildiğini göstermektedir. Bu nedenle  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün daha doğru dönme-titreşim enerji değerlerini elde edebilmek için Denklem (5)'de  $q = -e^{\alpha(r_{ij}-r_e)}$  seçimi ele alınmıştır. Bu durumda Denklem (5), değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli varlığındaki enerji özdeğer denkleminde indirgenmektedir.  $q = -e^{\alpha(r_{ij}-r_e)}$  için Denklem (5) kullanılarak elde edilen dönme-titreşim enerjileri Tablo 2'de verilmiştir.

$l \neq 0$  durumu için bu çalışmada elde edilen dönme-titreşim enerjileri ile Okorie ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020) geliştirilmiş genelleştirilmiş Mobius kare potansiyeli altında bulunan dönme-titreşim enerjileri arasında oldukça büyük farklılıklar olduğu Tablo 2'den görülebilmektedir. Bunun nedeni yalnızca kullanılan potansiyel enerji fonksiyonlarının farklı olmasından kaynaklanmamaktadır. Bu büyük

farklılığın sebebi Okorie ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020) enerji özdeğer denkleminin hatalı elde edilmesidir. (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020)'de Denklem (33) ile verilen enerji özdeğer

$$\text{denklemindeki } \sqrt{1 + \frac{8\mu D_e}{\alpha^2 \hbar^2 \xi^2} [(\xi + e^{\alpha r_e})^2 + \gamma h_2]}$$

$$\text{ifadesi } \sqrt{1 + \frac{8\mu}{\alpha^2 \hbar^2 \xi^2} [D_e (\xi + e^{\alpha r_e})^2 + \gamma h_2]}$$

biçiminde olmalıdır. Dolayısıyla  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülü için (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020) referansında elde edilen dönme-titreşim enerjileri yanlıştır. İlgili molekül için doğru dönme-titreşim enerjileri Tablo 2'de  $E_{nl}^b$  ile verildiği biçimdedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada GGPT potansiyeli varlığında bulunan titreşim enerjileri ile GM potansiyelinin özel durumları olan Morse, geliştirilmiş Rosen-Morse, değiştirilmiş Rosen-Morse, geliştirilmiş Manning-Rosen ve geliştirilmiş Tietz potansiyelleri için elde edilen titreşim enerjileri literatürdeki verilerle ve deneysel (gözlenen) verilerle karşılaştırılarak  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünü en doğru biçimde modelleyebilecek potansiyel enerji fonksiyonu belirlenmiştir. Değiştirilmiş Rosen-Morse

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1274351

potansiyelinin  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünü modellemede daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

**Tablo 2.**  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün dönme-titreşim enerjileri ( $cm^{-1}$ )

$n$	$l$	Gözlenen <sup>a</sup>	$E_{nl}^b$	$E_{nl}^c$	$n$	$l$	Gözlenen <sup>a</sup>	$E_{nl}^b$	$n$	$l$	Gözlenen <sup>a</sup>	$E_{nl}^b$
0	0	465.32	464.70	464.85	9	0	7684.20	7694.82	12	7		9719.18
1	0	1374.39	1376.17	1372.23		1		7699.83		8		9756.01
2	0	2255.74	2261.54	2249.76		2		7709.85		9		9797.37
	1		2267.33	$-1.751 \times 10^7$		3		7724.88		10		9843.22
3	0	3109.79	3120.43	3097.39		4		7744.90		11		9893.56
	1		3126.12	$-1.749 \times 10^7$		5		7769.90				
	2		3137.49	$-7.768 \times 10^7$		6		7799.88				
4	0	3936.95	3952.44	3915.09		7		7834.80				
	1		3958.03	$-1.746 \times 10^7$		8		7874.65				
	2		3969.19	$-7.763 \times 10^7$	10	0	8358.85	8356.64				
	3		3985.93	$-1.772 \times 10^8$		1		8361.53				
5	0	4737.66	4757.18	4702.86		2		8371.30				
	1		4762.66	$-1.744 \times 10^7$		3		8385.96				
	2		4773.61	$-7.759 \times 10^7$		4		8405.49				
	3		4790.02	$-1.771 \times 10^8$		5		8429.88				
	4		4811.89	$-3.132 \times 10^8$		6		8459.11				
6	0	5512.31	5534.23	5460.64		7		8493.17				
	1		5539.59	-		8		8532.04				
	2		5550.32	-		9		8575.69				
	3		5566.40	-	11	0	9009.56	8988.46				
	4		5587.83	-		1		8993.23				
	5		5614.59	-		2		9002.75				
7	0	6261.34	6283.15	6188.41		3		9017.03				
	1		6288.40	-		4		9036.05				
	2		6298.90	-		5		9059.81				
	3		6314.63	-		6		9088.29				
	4		6335.60	-		7		9121.47				
	5		6361.79	-		8		9159.33				
	6		6393.19	-		9		9201.85				
8	0	6985.17	7003.50	-		10		9248.99				
	1		7008.63	-	12	0	9636.73	9589.80				
	2		7018.89	-		1		9594.43				
	3		7034.28	-		2		9603.70				
	4		7054.78	-		3		9617.59				
	5		7080.38	-		4		9636.09				
	6		7111.08	-		5		9659.21				
	7		7146.84	-		6		9686.91				

<sup>a</sup> (Hsieh, Yang, Tam, Verma, & Stwalley, 1980)

<sup>b</sup> GM potansiyelinin  $q = -e^{\alpha(r_{ij}-r_e)}$  değeri için (Değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli) Denklem (5) kullanılarak elde edilen enerjiler

<sup>c</sup> (Okorie, Ikot, & Chukwuocha, 2020)

Değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli varlığında elde edilen titreşim enerjilerinin gözlenen verilerden ortalama mutlak yüzde sapması 0.27 olarak hesaplanmıştır. Morse, geliştirilmiş Rosen-Morse, geliştirilmiş Manning-Rosen, geliştirilmiş Tietz, GGPT ve geliştirilmiş Pöschl-Teller potansiyelleri varlığında elde edilen enerjilerin gözlenen verilerden ortalama mutlak yüzde sapmaları ise sırasıyla 1.20, 0.51, 2.61, 1.25, 1.19 ve 1.20 olarak bulunmuştur. Ayrıca, değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli ve merkezci terim için Pekeris-tipi yaklaşım kullanılarak  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün dönme-

titreşim enerjileri elde edilmiş ve literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır. (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020)'de geliştirilmiş genelleştirilmiş Mobius kare potansiyeli (ki bu iki atomlu moleküller için geliştirilmiş Tietz potansiyeli ile aynıdır) kullanılarak elde edilen dönme-titreşim enerjilerinin bu çalışmada bulunan dönme-titreşim enerjilerinden oldukça farklı olduğu; bu farklılığın yalnızca kullanılan potansiyel enerji fonksiyonundan kaynaklanmadığı, (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020) referansındaki enerji özdeğer denkleminin hatalı elde edilmesinden kaynaklandığı gösterilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1274351

Dolayısıyla,  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülü için (Okorie, Ikot ve Chukwuocha, 2020)'de verilen dönme-titreşim enerjilerinin yanlış olduğu tespit edilmiştir.

Değiştirilmiş Rosen-Morse potansiyeli  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülü için ilk kez bu çalışmada ele alınmış ve bu potansiyel ile elde edilen titreşim enerjilerinin deneysel verileri açıklamada literatürdekilerden daha başarılı olduğu yine ilk defa bu çalışmada gösterilmiştir. Ayrıca  $RbH(X^1\Sigma^+)$  molekülünün en olası teorik dönme-titreşim enerjileri bildiğimiz kadarıyla ilk kez bu çalışmada hesaplanmıştır. Moleküller için en doğru potansiyel enerjinin ve buna bağlı olarak en doğru dönme-titreşim enerjilerinin bulunması moleküllerin termodinamik ve optik özelliklerinin daha doğru bir biçimde incelenmesini sağlamaktadır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

#### ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

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

#### KAYNAKLAR

- Du, J. F., Guo, P. ve Jia, C. S. (2014). D-dimensional energies for scandium monoiodide. *Journal of Mathematical Chemistry*, 52, 2559-2569.
- Eyube, E. S., Bitrus, B. M. ve Jabil, Y. Y. (2021). Thermodynamic relations and ro-vibrational energy levels of the improved Pöschl-Teller oscillator for diatomic molecules. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 54(15), 155102.
- Eyube, E. S., Notani, P. P. ve Dikko, A. B. (2022). Modeling of diatomic molecules with modified hyperbolic-type potential. *The European Physical Journal Plus*, 137(3), 329.
- Ezzine, M. M., Hachama, M. ve Diaf, A. (2021). Feynman kernel analytical solutions for the deformed hyperbolic barrier potential with application to some diatomic molecules. *Physica Scripta*, 96(12), 125260.
- Frost, A. A. ve Musulin, B. (1954). The Possible Existence of a Reduced Potential Energy Function for Diatomic Molecules. *Journal of the American Chemical Society*, 76(8), 2045-2048.
- Greene, R. L. ve Aldrich, C. (1976). Variational wave functions for a screened Coulomb potential. *Physical Review A*, 14(6), 2363.

- Hsieh, Y. K., Yang, S. C., Tam, A. C., Verma, K. K. ve Stwalley, W. C. (1980). The RKR potential energy curves for the  $X^1\Sigma^+$  and  $A^1\Sigma^+$  states of  $RbH$ . *Journal of Molecular Spectroscopy*, 83(2), 311-316.
- Jia, C. S., Diao, Y. F., Liu, X. J., Wang, P. Q., Liu, J. Y. ve Zhang, G. D. (2012). Equivalence of the Wei potential model and Tietz potential model for diatomic molecules. *The Journal of chemical physics*, 137(1), 014101.
- Kisoglu, H. F., Yanar, H., Aydogdu, O. ve Salti, M. (2019). Relativistic spectral bounds for the general molecular potential: application to a diatomic molecule. *Journal of molecular modeling*, 25, 1-11.
- Liu, J. Y., Zhang, G. D. ve Jia, C. S. (2013). Calculation of the interaction potential energy curve and vibrational levels for the  $a^3\Sigma^+$  state of  $Li_2$  molecule. *Physics Letters A*, 377(21-22), 1444-1447.
- Morse, P. M. (1929). Diatomic molecules according to the wave mechanics. II. Vibrational levels. *Physical review*, 34(1), 57.
- Mustafa, O. (2015a). On the ro-vibrational energies for the lithium dimer; maximum-possible rotational levels. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 48(6), 065101.
- Mustafa, O. (2015b). A new deformed Schiöberg-type potential and ro-vibrational energies for some diatomic molecules. *Physica Scripta*, 90(6), 065002.
- Ocak, Z., Yanar, H., Salti, M. ve Aydogdu, O. (2018). Relativistic spinless energies and thermodynamic properties of sodium dimer molecule. *Chemical Physics*, 513, 252-257.
- Okorie, U. S., Ikot, A. N. ve Chukwuocha, E. O. (2020). Approximate energy spectra of improved generalized Mobius square potential (IGMSP) for some diatomic hydride molecules. *Journal of Molecular Modeling*, 26, 1-9.
- Pekeris, C. L. (1934). The rotation-vibration coupling in diatomic molecules. *Physical Review*, 45(2), 98.
- Varshni, Y. P. (1957). Comparative study of potential energy functions for diatomic molecules. *Reviews of Modern Physics*, 29(4), 664.
- Wang, P. Q., Liu, J. Y., Zhang, L. H., Cao, S. Y. ve Jia, C. S. (2012). Improved expressions for the Schiöberg potential energy models for diatomic molecules. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 278, 23-26.
- Wang, P. Q., Zhang, L. H., Jia, C. S. ve Liu, J. Y. (2012). Equivalence of the three empirical potential energy models for diatomic molecules. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 274, 5-8.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1274351

- Yanar, H. (2022a). More accurate ro-vibrational energies for SiF+(X  $1\Sigma^+$ ) molecule. *Physica Scripta*, 97(4), 045404.
- Yanar, H. (2022b). Comment on ‘Thermodynamic relations and ro-vibrational energy levels of the improved Pöschl–Teller oscillator for diatomic molecules’. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 55(17), 178001.
- Yanar, H., Aydoğdu, O. ve Saltı, M. (2016). Modelling of diatomic molecules. *Molecular Physics*, 114(21), 3134-3142.
- Yanar, H., Taş, A., Saltı, M. ve Aydogdu, O. (2020). Ro-vibrational energies of CO molecule via improved generalized Pöschl–Teller potential and Pekeris-type approximation. *The European Physical Journal plus*, 135(3), 292.
- Zhang, G. D., Liu, J. Y., Zhang, L. H., Zhou, W. ve Jia, C. S. (2012). Modified Rosen-Morse potential-energy model for diatomic molecules. *Physical Review A*, 86(6), 062510.



## Defne Yaprağı Esansiyel Yağının +4°C'de Muhafaza Edilen Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum,1792) Filetolarının Raf Ömrü Üzerine Koruyucu Etkisi

**Nermin Karaton Kuzgun**

Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Tunceli, Türkiye  
nerminkaraton@hotmail.com

Makale gönderme tarihi:19.10.2022, Makale kabul tarihi:05.01.2023

### Özet

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda (% 0.1, % 0.5 ve % 1) kullanılan defne yaprağı esansiyel yağının soğukta depolanan gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarındaki raf ömrü üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmada ki filetoların +4±1°C'deki raf ömrü süresince her analiz gününde kimyasal analizleri (pH, TBA ve TVB-N), mikrobiyolojik analizleri (Aerob bakteri, psikrofilik, laktobacillus, maya ve küf) ve duyuşsal analizleri (genel beğeni) gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, taze filetoların 6. günde, %0,1 defne yaprağı esansiyel yağı ile kaplanmış filetoların 9. günde, %0,5 defne yaprağı esansiyel yağı ile kaplanmış filetoların 12. günde, %1 defne esansiyel yağı ile kaplanmış filetoların 15. günde, mevcut muhafaza süreleri sona ermiştir. Sonuç olarak, defne yaprağı esansiyel yağının filetoların raf ömrü üzerinde olumlu etki gösterdiği, özellikle %1 defne yaprağı esansiyel yağı uygulanmış filetolarında bu kategoride kayda değer olduğunun ve ürünün mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşsal kalitesi üzerine olumlu etki gösterdiğinin önemli olduğu (p<0.05) belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Defne, esansiyel yağ, *Oncorhynchus mykiss*, raf ömrü

## Protective Effect of Bay Leaf Essential Oil on Shelf Life of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Stored at + 4 ° C

### Abstract

In this study the effects of Bay leaf essential oil used at different concentrations (0.1%, 0.5% and 1% w/v) on the shelf life in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets were investigated under cold storage. During storage in +4±1°C, the fillets were done in every analyzes days period as chemical analyzes (pH, TBA, and TVB-N), microbiological analyzes (Total aerobic bacteria, psikrofilik, laktobacillus and yeast and mold) and sensory analyzes (general acceptable). The result of analyzes showed that, available preservation period has ended fresh fillets in day 9, those coated fillets with 0.1% bay leaf essential oil in day 9, those coated fillets with 0.5% bay leaf essential oil in day 12, those coated fillets with 0.1% bay leaf essential oil in day 12. As a result, it was observed that addition applied of bay leaf essential oil It was determined significant on 1% bay leaf essential oil and that it has in this category a positive effect on the microbiological, chemical and sensory quality of the product (p<0.05).

**Keywords:** Bay, essential oil, *Oncorhynchus mykiss*, shelf life

### GİRİŞ

Taze su ürünlerinde başlıca problem, bu ürünlerin raf ömrünün kısa olmasıdır. Eğer balık eti taze olarak tüketilecekse mevcut ürün kalitesini mümkün olduğu sürece koruyarak, balığın tüketilebilirlik özelliğini uzun süre muhafaza etmek gerekmektedir (Gram, 1991).

Beslenme bilincinin gelişmesine bağlantılı olarak balık ve deniz ürünlerinin tüketimi gün

geçtikçe artış göstermektedir. Taze olarak tüketilen balıklar koruyucu önlemler alınmadığı takdirde avlanmayı takiben kısa sürede bozulurlar. Bozulmayı önlemek ya da geciktirmek için soğuk muhafaza, vakum paketlenme, antioksidanlarla muamele gibi işlemlerin yapılması gereklidir (Wheaton ve Lawsons, 1985; Varlık vd., 1988; Şentürk, 1994).

Son yıllarda, doğal koruyucu maddelere olan ilgi gittikçe artmaktadır (İnal,1992; Emir Çoban, 2013; Emir Çoban ve Özpolat, 2013; Hassoun, ve Emir Çoban, 2017; Karaton Kuzgun ve Kırbağ, 2020). Defne yaprağı esansiyel yağı ile ilgili pek çok araştırma mevcuttur. Akgül vd. (1989) nane, rezene, defne yaprağı esansiyel yağı ve kimyon yağlarının *P. aeruginosa*, *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. vulgaris*'in faaliyetlerini engellediğini belirtmişlerdir (Akgül ve Kıvanç, 1989). Sağdıç vd., (2002), yedi adet baharat ekstraktının [defne, mersin yaprağı, kekik, mercanköşk, kimyon] *Escherichia coli* gelişimine olan etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, kekik ve mercanköşkün diğer baharat çeşitlerinden daha yüksek antimikrobiyal özellik gösterdiğinin ve ayrıca ölmez çiçeğinin ve defnenin de bakterilerin gelişimini engellediğini tespit edilmişlerdir. Çalışma ile *Escherichia coli*'nin aktivitesinde bu baharat ekstraktlarının kullanılabilceği kanısına varmışlardır. Toroğlu vd., (2006) zencefil ve defne yaprağı esansiyel yağlarının antimikrobiyal özelliklerini ve cephalothin, gentamicin ve ceftriaxone gibi antibiyotiklerle birlikte kullanıldıklarında oluşan etkileri incelemişlerdir. Defnenin *M. smegmatis*, *B. megaterium*, *M. luteus*, *S. faecalis*, *B. brevis*'e karşı sinerjistik etkisinin olduğu ve diğer bakterilere karşı da etkinliğinin olduğunu belirlemişlerdir. Gerçek ve Yanar (2018), %1 defne eklenmiş jelatin ile kaplanmış çipura (*S. aurata* L., 1758) filetolarının soğuk muhafazada 15 gün depolanması boyunca kimyasal kalite üzerine olan etkilerini araştırmış ve esansiyel yağ ile zenginleştirilen jelatin kaplamanın filetoların kontrol grubuna göre raf ömrünü daha da uzattığı kanısına varmışlardır.

Esansiyel yağlar, hem tek başlarına hem de diğer muhafaza teknikleriyle de birlikte kullanıldıkları zaman, ürünlerin muhafazasını olumlu yönde etkileyebilen doğal olarak elde edilmiş antimikrobiyallerdir. Konu ile ilgili olarak yapılan pek çok çalışmada, değişik bitki türlerinin ekstraktlarıyla elde edilmiş karışım yağları farklı gıdalara uygulanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilmiş olan esansiyel yağların antimikrobiyal etkisinin, kombine haldeki yağları teşkil eden hangi spesifik madde ya da maddelerden dolayı olduğu saptanamamıştır. Ek olarak bu ekstraktlarda toksik maddelerde bulunabilmektedir. Dolayısıyla gıdalara kombine haldeki bu ekstraktların yerine, spesifik esansiyel yağların da ilavesi ise daha güvenilir olur.

Bu yağlar insan sağlığı bakımından, kanserojen etkisinin olduğunu araştıran deneysel çalışmalar mevcuttur. Esansiyel yağların, çok sayıda olumlu biyolojik etkilere sahip oldukları çalışmalar da mevcuttur (Frag vd.,1989, Blaszyk ve Holley, 1998; Emir Çoban, ve Patir, 2013; Emir Çoban, vd., 2016;).

Bu araştırmada, esansiyel bir yağ olan defne yaprağı yağının alabalık filetolarına uygulayarak paketlenme ile birlikte kombine etkisinin balık filetolarının raf ömrü üzerine etkisi incelenmiştir.

## MATERYAL ve METOT

Araştırmada Salmonidae familyasına dahil olan *Oncorhynchus mykiss* (gökkuşuğu alabalığı) türü balıklar kullanılmıştır. Balıklar, Elazığ'da faaliyet gösteren "Keban Alabalık" yetiştirme tesisinden elde edilmiştir. Ağırlıkları yaklaşık olarak  $300 \pm 10$  g olarak seçilerek balıklar, soğuk zincirde Fırat Üniversitesi, Biyomühendislik Laboratuvarına getirilerek aynı gün fileto haline getirilmiştir.

### Filetoların Hazırlanması

Laboratuvara soğuk zincir (Buz içerisinde strafor kutularla) ile laboratuvara ulaştırılan balıkların filetosu, uygun bıçaklar ve aletler vasıtasıyla elde edilmiştir. Fileto eldesi için, baş kesilip ve iç organlar çıkartılmıştır, deri tamamen alındıktan sonra, filetolar temiz suyla bolca yıkanmış ve işleme hazır bir hale getirilmiştir. Araştırmada kullanılan defne yaprağı esansiyel yağı, ticari bir firmadan (Kalsek) temin edilmiştir. Defne yaprağı esansiyel yağı ilaveli gruplarını oluşturmak amacıyla, fileto ağırlığının %0,1' i oranında Defne yaprağı esansiyel yağı, fileto ağırlığının %0,5'i oranında Defne yaprağı esansiyel yağı, yine fileto ağırlığının %1'i oranında Defne yaprağı esansiyel yağı filetolar üzerine uygun bir fırça yardımıyla sürülmüştür. Defne yaprağı esansiyel yağı sürülen %0,1, %0,5 ve %1 oranındaki gruplar kontrol grupları ile birlikte strafor tabak ve streç film ile birlikte ambalajlanıp 4 farklı deneysel grup elde edilmiştir. Elde edilen deneysel örnekler +4°C'de muhafazaya alınmıştır. Örnekler, muhafazanın belirli günlerinde (1., 3., 6., 9., 12. ve 15. günler) duyuşal, mikrobiyolojik ve kimyasal analizleri (duyuşal yünden tüketim niteliklerini yitirinceye kadar) yapılmıştır. Çalışma üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

**Tablo.1.** Deneysel örnek gruplarına ait bilgiler

Grup	Uygulama durumu	Defne yaprağı esansiyel yağı konsantrasyonu (%)
A	Kontrol	0
B	Defne	0.1
C	Defne	0.5
D	Defne	1.0

### Mikrobiyolojik Analizler

Mikrobiyolojik analizlere hazırlık için, fileto örnekleri önce bir Stomacher parçalayıcısının (Stomacher 400) özel torbasında steril olacak şekilde 10g tartılmış, üzerine steril %0,1 oranında daha önceden hazırlanmış peptonlu sudan 90 ml ilave edilmiş ve parçalayıcı vasıtasıyla homojen bir karışım haline getirilmiştir. Bu sayede numunelerin 1/10'lik dilüsyonları oluşturulmuştur. Bu dilüsyondanlardan aynı seyrelticiyi kullanmak şartıyla örneğin 6/10 oranlarına kadar diğer seyreltileri yapılmıştır. Örneklerin her seyreltilerinden 1'er ml alınarak çift seri şeklinde plak dökme yöntemiyle ekimleri yapılmış ve inkübasyon periyodu sonunda 30-300 adet koloni içeren plaklar değerlendirmeye tabi tutulmuştur (Harrigan, 1998; Varlık vd., 1993a).

Çalışmadaki aerob bakterilerin sayımında Plate Count Agar (LAB) kullanılmış ve inkübasyona tabi tutulmuştur. Inkübasyon sonucunda oluşan plaklar, 30±1 °C'de 3. günün sonunda oluşan kolonilerin sayımı yapılmıştır (Harrigan,1998). Psikrofilik bakteri sayımında Plate Count Agar besiyeri (PCA) (LAB) kullanılmıştır. Oluşan plakların 7 °C'de 7 gün inkübasyon sonunda sayımları yapılmıştır (Harrigan, 1998). Laktobasillerin sayımı için MRS Agar kullanılmıştır (LAB). Plaklar 28° C'de 2 gün bekletilerek oluşan kolonilerin sayımı yapılmıştır (Harrigan, 1998). Örneklerdeki maya ve küf sayısının belirlenmesi için % 10'luk hazırlanmış tartarik asit ilave edilen Potato Dextrose Agar besiyeri (PDA) (LAB) pH'sı 3,5'e düşürüldükten sonra kullanılmıştır. Oluşan plaklar 25±1 °C sıcaklıkta 4-5 gün boyunca inkübe edilmiştir (ICMSF, 1986).

### Kimyasal Analizler

Örneklerin pH değerlerinin ölçülmesi için, ORION marka pH metre kullanılmıştır. Karıştırılan her bir örnekten 10 g alınmış ve 100 ml distile su yardımıyla 1 dakika süre ile homojenizatörde parçalanmasından sonra pH metre ile ölçümleri

gerçekleştirilmiştir (AOAC, 1990). Örneklerdeki TVB - N değerleri, su buharı destilasyon ünitesi (Makro Kjeldahl) vasıtasıyla Varlık vd. (1993)'nin belirttiği yöntemle göre yapılmıştır. TBA analizi Tarladgis vd., (1960)'nin belirttiği yöntemle göre belirlenmiştir.

### Duyusal Analizler

Deneysel örnekler muhafazalarının 1., 3., 6., 9., 12. ve 15. Muhafaza günlerinde ki duyuşal değeri bakımından incelenmiştir. Örnekler fırın poşetinde ayrı ayrı paketlenerek 10 dk kadar 180 °C de pişirilmiş ve her bir numuneye numara verilerek panelistlere laboratuvar ortamında sunulmuştur. Örnekler genel beğeni bakımından 5 kişilik uzman panelistler vasıtasıyla 9'dan 1'e kadar puanlama skalası ile değerlendirilmiştir (Lawless ve Huss, 2010).

### İstatistiksel Analizler

Araştırmada elde edilen değerlerin istatistiksel analizler IBM SPSS®22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) bilgisayar istatistik paket programı yardımı ile yapılmıştır. Muhafazanın günleri ve mevcut gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel bakımından öneminin belirlenmesinde ise varyans (ONE WAY ANOVA, DUNCAN) analizi kullanılmış ve p<0.05 olan değerler dikkate alınmıştır.

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Genellikle yeni yakalanmış sağlıklı bir balıkta kas sterilidir. Mikroorganizmalar balığın solungaçlarında, derisinde ve bağırsağında mevcuttur. Mikroorganizmaların miktarı, balığın derisinde 10<sup>2</sup>-10<sup>6</sup> kob/cm<sup>2</sup>, bağırsaklarında ve solungaçlarına ise 10<sup>3</sup> -10<sup>9</sup> kob/g değerlerindedir. Balıklar av sonucunda uygulanan işleme yöntemlerine, depo sıcaklık derecesi ve depo süresi gibi etkenlere bağlı olarak mikroorganizmalar; deri, solungaçlar ve bağırsaklardan balık kasına geçiş yaparlar ve sonuçta üründe kalite bozulmasına, dolayısıyla bu balığı tüketen tüketiciler toksikasyon ya da enfeksiyon ile karşılaşabilirler. Bu yüzden, balığın kasında mevcut olan mikroorganizma türü ve sayısı balığın muhafazası ve insan sağlığı bakımından önem taşımaktadır (Gram ve Huss, 1996; Gram ve Huss, 2000). Çalışmada toplam aerob bakteri sayısı 2,25±0,29 - 6,67±0,48 log kob/g aralığında belirlenmiştir (Şekil 1). Toplam aerob bakteri sayısında muhafaza günleri arasındaki farklılığın

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1191629

önemli ( $p<0,05$ ) olduğu bulunmuştur. Can vd. (2007), araştırmalarında; karanfil yağının aynalı sazın filetolarının muhafazası bakımından etkisini araştırdıkları çalışmalarında aynalı sazın filetolarında, esansiyel yağın etkisini incelediklerinde koloni sayısını 7,11–7,79 log kob/g olarak tespit etmişlerdir. Bu değer mevcut çalışmanın verilerinden yüksektir. Ayrıca yapmış oldukları çalışmalarında ürünü raf ömrünü 42 gün olarak belirlemişlerdir. Bunu balık türünün ve esansiyel yağın farklı olmasına ayrıca esansiyel yağın uygulanış şekline bağlayabiliriz.

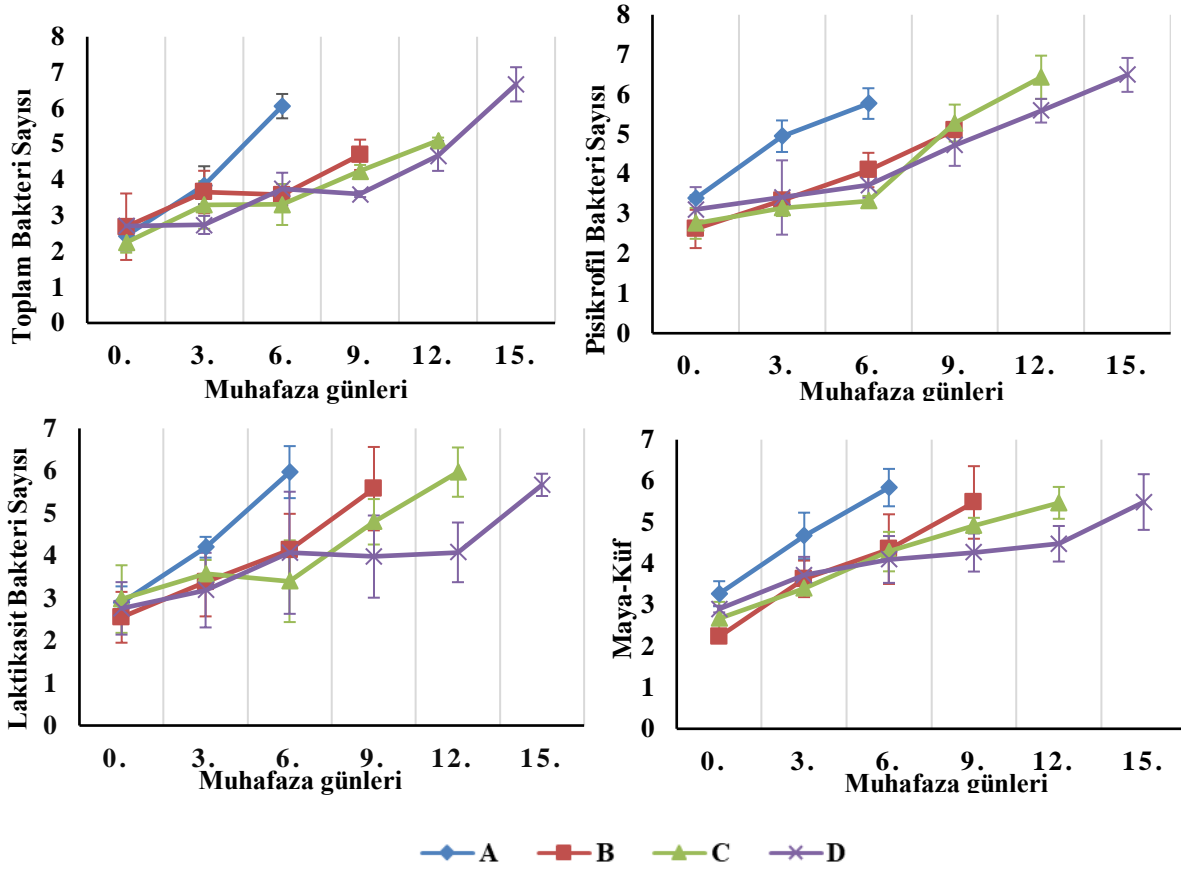
Psikrofilik bakteriler, buzdolabı koşullarında muhafaza edilen balıkların aerobik şartlarda bozulmasından sorumlu çok önemli mikroorganizmalar grubunu oluşturur (Sallam 2007). Şekil 1’de sunulduğu gibi çalışmada toplam psikrofil bakteri sayısı  $2,62\pm 0,48 - 6,49\pm 0,43$  log kob/g aralığında belirlenmiştir. Psikrofilik bakteri açısından bütün gruplarda 3. ve 6. muhafaza günlerinde istatistiksel bakımdan anlamlı farklılıkların olduğu ( $p<0,05$ ) tespit edilmiştir. Pek çok yapılmış araştırmada kekik esansiyel yağı ve oreganium esansiyel yağının psikrofil bakterilerine karşı faaliyetlerini yavaşlattığını ifade etmişlerdir (Nerantzaki vd., 2005; Mahmoud vd., 2004; Karaton Kuzgun ve Kırbağ, 2020). Ek olarak, psikrofilik ve mezofilik bakteri başlangıç yükü benzer olmasına rağmen 15 gün sonra mezofilik aerob bakteri konsantrasyonu daha yüksek çıkmıştır. Defne yaprağı esansiyel yağının psikrofil bakteriler üzerinde daha etkili olduğunu belirtebiliriz.

A grubunda 0. günde *Lactobasillus* sayısı  $2,89\pm 0,39$  log kob/g değerindeyken da sonra artış gösteren bu değer 6. günde  $5,97\pm 0,62$  log kob/g olarak yükselme göstermiştir. B grubundaki muhafazanın 0. gününde deneysel örneklerde ise *Lactobasillus* sayısı  $2,55\pm 0,60$  log kob/g değerlerinde iken bu değer muhafazanın 9. günde yani son gününde yükseliş göstererek  $5,58\pm 0,98$  log kob/g olarak belirlenmiştir. Deneysel C grubu örneklerinin en az sayıdaki *Lactobasillus* sayısı 0. günde  $2,98\pm 0,80$  log kob/g oranında tespit edilmiştir. En yüksek *Lactobasillus* sayısı 12. muhafaza gününde  $5,97\pm 0,58$  log kob/g oranında sayılmıştır. D grubu örneklerde (%1 defne yaprağı esansiyel yağı uygulanmış) *Lactobasillus* sayısı muhafazanın ilk

günü  $2,76\pm 0,62$  log kob/g oranında tespit edilmiştir ve muhafazanın son günü ise  $5,67\pm 0,26$  log kob/g olarak belirlenmiştir (Şekil 1). *Lactobasillus* sayısında muhafazanın 6. gününde deneysel gruplar arasında ki (A ve C grupları) artışların önemli olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Viuda-Martos vd. (2008), değişik uçucu yağların antimikrobiyal özelliklerini inceledikleri araştırmalarında, *Lactobacillus* miktarına çok etkisi olan esansiyel yağın biberiye uçucu yağı olduğunun ve biberiyenin de sonrasında sırasıyla kekik uçucu yağı ve karanfil uçucu yağlarının takip ettiğini ifade etmişleridir.

Şekil 1 incelendiğinde, deneysel filetoların maya-küf sayıları, fileto örneklerinde  $3,27\pm 0,31$  log kob/g, A, B, C ve D gruplarının muhafazalarının sonucunda maya-küf miktarı  $5,84\pm 0,45$  (6. gün);  $5,47\pm 0,88$  (9. gün),  $5,46\pm 0,39$  (12. gün) ve  $5,49\pm 0,67$  (15. gün) log kob/g olarak sayılmıştır. Maya-Küf miktarı yükselişi muhafaza günleri içerisinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Farklı türlerdeki esansiyel yağların maya ve küf miktarındaki azalmaya sebep olduğu pek çok çalışmada incelenmiştir (Rasooli ve Owlia, 2005; Hassoun, ve Çoban, 2017).





A: Defne yağ'sız, B: % 0.1, C:% 0.5, D: % 1.0  
Şekil 1. Deneysel örneklerin mikrobiyolojik değişimi

Balıklarda pH tüketim sınırı 6,8 olarak belirlenmiş olup, pH değeri 7 ve üzeri olan balıklar bayat olarak kabul edilir. Fakat pH değeri 7'nin üzerinde olan balıkların diğer özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği de bilinen bir gerçektir (Demirci ve Oraklı, 1999). Şekil 2 de sunulduğu gibi deneysel fileto örneklerinde pH değişimi  $6,88 \pm 0,02$  -  $6,34 \pm 0,15$  arasında belirlenmiştir. Deneysel örnekler pH değeri bakımından incelendiğinde muhafaza günleri arasındaki ve gruplar arasındaki farklılığın önemli olduğu bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Hosseini vd., (2016), Kekik (*Origanum vulgare* L.) uçucu yağ (%1,2 w/v) içeren jelatin kaplamalı (%4, w/v) alabalık örnekleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında pH'da daha düşük bir artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Alabalık örneklerinde pH değerinin yavaş düşmesinin sebebinin sadece kekik uçucu yağı kullanımından kaynaklandığının altını çizmişlerdir. Karaton Kuzgun ve Gürel İnanlı (2018), yapmış oldukları çalışmada balık fileto da pH değişiminin

giderek azaldığını tespit etmişlerdir. Bu veriler mevcut çalışmanın verilerine benzerlik göstermektedir. Proteinler ve protein olmayan nitrojenli bileşikler mikrobiyal aktivite sonucunda yıkıma uğraması sonucunda uçucu bazlar meydana gelmektedir (Yerlikaya vd., 2005). Taze balıkta TVB-N miktarı 0-25 mg/100g'a kadar olan örnekler "çok iyi", 30 mg/100g'a kadar olan örnekler "iyi", 35 mg/100g'a kadar olan örnekler "pazarlanabilir" ve 35 mg/100g'dan fazla olanlar örnekler ise "bozulmuş" olarak nitelendirilirler (Varlık vd., 1993). Mevcut çalışmada, TVB-N değeri  $9,94 \pm 0,90$  -  $37,20 \pm 1,80$  mg/100g aralığında belirlenmiştir. Deneysel örneklerin TVB-N değeri raf ömrü boyunca düzenli artışlar göstermiştir (Şekil 2). Muhafaza günleri arasındaki (3. günde) farklılıklar önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). TVB-N açısından gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Uçak vd. (2011), buzdolabı koşullarında depolanan uskumru burgerlerinin  $+4^{\circ}\text{C}$ ' de depolamanın başında TVB-N konsantrasyonu kontrol

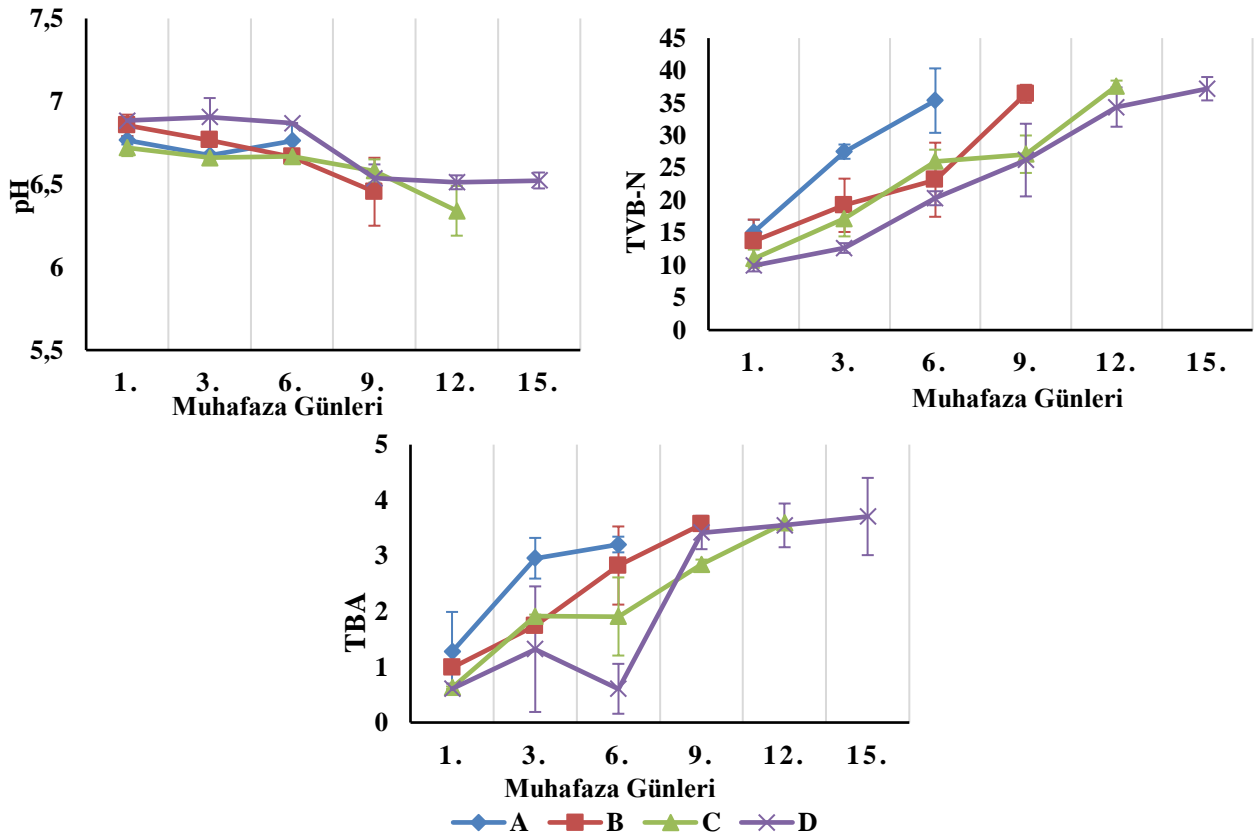


Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1191629

grubu için 15,80 mg /100g, % 0,8 biberiye ekstresi uygulanan grup için 13,01 mg TVB-N/100g olduğunu belirlemişlerdir. Depolamanın sonunda ise kontrol grubu için 19,83 mg/100 g, %0,4'lük biberiye ekstresi uygulanan grup için ise 18,53 mg/100g olarak ve raf ömrünü 15 gün olarak belirlemişlerdir. Bu veri yapılan bu çalışmada ki verilerden düşüktür. Bunu sebebini balık türünün ve esansiyel yağın farklı oluşu ile ilişkilendirebiliriz.

Su ürünlerinde acılaşıma indeksi olan TBA değeri, yağların oksidasyonu sonucu ortaya çıkar ve 1–3 mg MDA/kg miktarı arasındaki değerler “iyi kalite”, 3–5 mg MDA/kg miktarı arasındaki değerler “orta kalite”, 5–8 mg MDA/kg miktarı arasındaki değerler “düşük kalite” ve 8 mg MDA/kg değerinden yüksek numuneler ise “tüketilemez” kabul edilmiştir (Sinnhuber ve Yu, 1958; Varlık vd., 2007). Mevcut çalışmada Şekil 2 de sunulduğu gibi filetolarda TBA değerleri  $0,61\pm0,10$  -  $3,71\pm0,70$  mg MDA/kg

aralığında belirlenmiştir. TBA değeri bakımından muhafaza günleri arasındaki farklılığın anlamlı olduğu ( $p<0.05$ ) belirlenmiştir. Ayrıca TBA değeri bakımından deneysel gruplar arasındaki farklılığın da anlamlı olduğu belirlenmiştir ( $p<0.05$ ). Doğan ve İzci (2016), yapmış oldukları çalışmada biberiye yağı ile zenginleştirilmiş kitosan filmleri ile kaplanmış alabalık filetolarında belirlemiş oldukları TBA değeri mevcut çalışmanın değerlerine yakın değerlerdir. Erkan vd. (2011) balık filetolarına %1 oranında defne ve kekik esansiyel yağı içeren plastik film ambalajlarda 13 gün buzdolabı koşullarında depolamışlardır. TBA değerleri kontrol grubunda 1,75 mg MDA/kg olarak, kekik yağı ilaveli örneklerde 0,90 mg MDA/kg olarak ve defne yaprağı esansiyel yağı ilaveli örneklerde ise 2,35 mg MDA/kg olarak belirlemişlerdir. Bu değerler yapılan mevcut çalışmadaki TBA bulgularına yakındır.



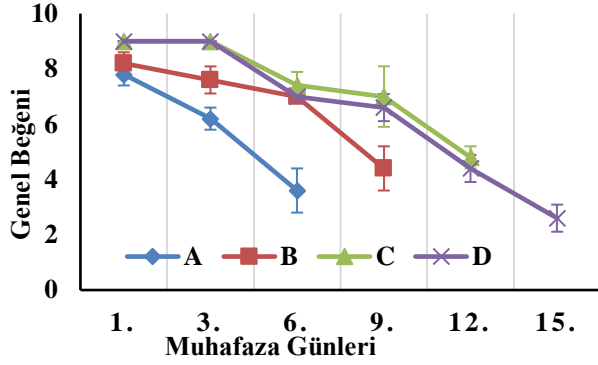
Şekil 2. Deneysel örneklerin kimyasal değişimi

Araştırmadaki tüm deneysel gruplar muhafazanın 0. gününde genel beğeni bakımından incelendiğinde  $9,00\pm0,00$  ile  $2,60\pm0,49$  arası puanlar

aldığı tespit edilmiştir (Şekil 3). Muhafazanın 3. gününde bu değerler A grubu hariç düşüş göstererek  $6,20\pm0,40$  puan almıştır. B, C ve D deneysel

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1191629

gruplarında ise yükseliş göstererek sırasıyla  $7,60\pm 0,49$ ,  $9,00\pm 0,00$ ,  $9,00\pm 0,00$  puana ulaşmıştır. Deneysel örneklerin muhafazası süresince bu değerlerde anlamlı azalmalar ( $p<0,05$ ) meydana gelmiştir.



A: Defne yağ'sız, B: % 0.1, C:% 0.5, D: % 1.0

**Şekil 3.** Deneysel Örneklerin Genel Beğeni Puanı Değişimi

## SONUÇLAR

Sonuç olarak, yapılan bu çalışma verilerine göre doğal bir antioksidan ve antimikrobiyal katkı maddesi olan defne yaprağı esansiyel yağının alabalık filetolarının raf ömrünü uzatmak ve korumak için kullanılabileceğini kanıtlamıştır. Bu doğal antimikrobiyal koruyucu etkileri üzerine daha fazla araştırma yaparak, insan gıdasını sentetik maddeler yerine doğal ürünlerle korumayı teşvik eden bu çalışma, bundan sonraki araştırmalara ışık tutacaktır.

## TEŞEKKÜR

Proje çalışmalarım süresince tecrübelerinden yararlandığım Dr. Öğretim Üyesi Pınar ERECEVİT SÖNMEZ'e, laboratuvar çalışmalarının yürütülmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI'na, çalışmanın yürütülmesi için maddi imkan sağlayan Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi borç bilirim.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

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

## REFERANSLAR

- Akgül, A. ve Kıvanç, M. (1989). Growth of *Staphylococcus aureus* in Koefte, a Turkish Ground Meat Product, Containing Laser Trilobum Spice. *J.Food Safety*, 10(1):11-19pp.
- Association Official Analytical Chemists. (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Association Official Analytical Chemists (AOAC), Washington, DC
- Blaszyk, M. and Holley, R.A. (1998). Interaction of monolaurin, eugenol and sodium citrate on growth of common meat spoilage and pathogenic organisms. *International Journal of Food Microbiology* 39, 175–183.
- Can, Ö.P. Arslan, A. ve Özdemir, P. (2007). Eugenolün çiğ balık filetolarının muhafaza süresi üzerine etkisi, Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 5, 2, 125-128.
- Demirci, M. ve Orak H.H. (1999). Farklı soğutma ortamları ve  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan istavrit balığında (*Trachurus trachurus*) meydana gelen kalite değişimleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23:143-150.
- Doğan G., ve İzci L. (2017). Effects on quality properties of smoked rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets of chitosan films enriched with essential oils, *Journal of Food processing and preservation*, 41, 1.
- Erkan, N., Tosun, S.Y., Ulusoy, S. and Uretener, G. (2011). The use of thyme and laurel essential oil treatments to extend the shelf life of bluefish (*Pomatomus saltatrix*). *J. Verbrauch. Lebensm.* 6, 39–48.
- Emir Çoban, O. (2013). Effect of ginger oil on the sensory and chemical changes of fish finger (sarda sarda, heckel 1843) during refrigerated storage. *International Food Research Journal*, 20, 1575-1578.
- Emir Çoban, O., ve Patir, B. (2013). Antimicrobial and antioxidant effects of clove oil on sliced smoked *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 8, 195-199.
- Emir Çoban, O., Patir, B., Ozpolat, E., ve Kuzgun, N.K. (2016). Improving the quality of fresh rainbow trout by sage essential oil and packaging treatments. *Journal of Food Safety*, 36, 299-307.
- Hassoun, A. ve Çoban Ö.E. (2017). Essential oils for antimicrobial and antioxidant applications in fish and other seafood products. *Trends in Food Science & Technology* 68, 26-36
- Farag, R.S., Daw, Z.Y., Hewedı, F.M. and EL-Baroty, G.S.A. (1989). Antimicrobial activity of some Egyptian spice essential oils. *J.Food Protect.*, 52(9),665-667.
- Gerçek, G. ve Yanar, Y. (2018). Defne ve kekik yağı eklenen balık jelatini ile kaplanan çipura (*Sparus aurata* L., 1758) filetolarının soğuk ( $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) depolanmasında oluşan kimyasal değişimlerin

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1191629

- incelenmesi, Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 35-7.
- Gram, L. ve Huss, H.H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. International, Journal of Food Microbiology, 33, 121-137.
- Gram, L. ve Huss, H.H. (2000). Fresh and processed fish and shellfish. In: Lundi B.M., Baird-Parker, T.C. and Gould, G.W. (Ed.), The Microbiological Safety and Quality of Food, Vol: I, An Aspen Publication Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, 472-506.
- Gram, L. (1991). Inhibition of mesophilic spoilage *Aeromonas* spp. on fish by salt, potassium sorbate, liquid smoked and chilling, Journal of Food Protection, 54, 436-442.
- Harrigan, W.F. (1998). Laboratory Methods in Food Microbiology, 3rd Ed. Academic Press. London.
- Hosseini, S.F. Rezaei, M. Zandi, M. ve Ghavi, F. (2016). Effect of fish gelatin coating enriched with oregano essential oil on the quality of refrigerated rainbow trout fillet. Journal of Aquatic Food Product Technology, 25:6, 835-842.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods), (1986). Microorganisms in Foods 2. sampling for microbiological analysis, 2<sup>nd</sup> edition, University of Toronto Press, Toronto.
- İnal, T. (1992). Besin Hijyeni-Hayvansal Gıdaların Sağlık Kontrolü. Final Ofset, İstanbul.
- Karaton Kuzgun, N. ve Gürel İnanlı, A. (2018). The investigation of the shelf life at 2–1°C of *Luciobarbus esocinus* filets packaged with films prepared with the addition of different essential oils and chitosan. J Food Sci and Tech, 55: 2692–2701.
- Karaton Kuzgun N. ve Kırbağ S., (2020). Description of the Protective Feature of Oregano Essential Oil Sold as a Commercial Site on Rainbow Trout 6(2), 99 – 106.
- Lawless, H. ve Heyman, H. (2010). Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices, Second Edition, Springer, 596p.
- Mahmoud, B.S.M. Yamazaki, K. Miyashita, K. Shin, I.S. Dong-Suk, C. ve Suzuki, T. (2004). Bacterial microflora of carp (*Cyprinus carpio*) and its shelf-life extension by essential oil compounds, *Food Chemistry*, 21, 656-662.
- Nerantzaki, A. Tsiotsias, A. Paleologos, E.K. Savvaidis, I.N. Bezirtzoglou, E. ve Kontominas, M.G., (2005). Effects of ozonation on microbial, chemical and sensory attributes of vacuum-packed rainbow trout stored at 4 ± 0.5°C, European Food Research Technology, 221, 675-683.
- Rasooli, I., ve Owlia, P. (2005). Chemoprevention by thyme oils of *Aspergillus paraciticus* growth and aflatoxin production. *Phytochemistry*, 66, 2851-2856.
- Sagdiç, O. Kuşçu, A. Özcan, M. ve Özçelik, S. (2003). Effect of Turkish spice extracts at various concentrations on the growth of *E. coli* 0157:H7. Food Protection 19: 473-480.
- Sallam, K. I. (2007). Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. Food Control, 18, 5, 566–575.
- Sinnhuber R.O. ve Yu, T.C. (1958). 2- Thiobarbituric acid method for the measurement of rancidity in fishery products II. The quantitative determination of malonaldehyde. Food Technology, 1, 9-12.
- Şentürk, A. (1994). Bazı Değerlendirilmiş Kabuklu Su Ürünlerinin Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkili Olan Faktörlerin Araştırılması. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Çanakkale İl Kontrol ve Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No: 20/32, Çanakkale.
- Tarladgis, B.G., Watts, B.M., Younathan M.T. and Dugan, JR., (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods, Journal of American Oil Chemist's Society, 37, 44-48.
- Toroğlu, S., Dıġrak, M. ve Çenet, M., (2006). Baharat olarak tüketilen *Laurus nobilis* Linn ve Zingiber officinale Roscoe bitki uçucu yağlarının antimikrobiyel aktiviteleri ve antibiyotiklere in-vitro etkilerinin belirlenmesi. KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi. 9 (1):20-26.
- Uçak, I., Ozogul, Y. ve Durmus, M., (2011). The effects of rosemary extract combination with vacuum packing on the quality changes of Atlantic mackerel fish burgers. Int. J Food Sci. Technol. 46, 1157–1163.
- Varlık, C., Gökoğlu, N. ve Ülgen, T. (1988). Dondurulmuş karideslerin muhafazası. İstanbul Üniv., Veteriner Fakültesi Derg., 14 (2), 19-28.
- Varlık, C., Mol S., Baygar, T., ve Tosun, Ş.Y., (2007). Su Ürünleri İşleme Teknolojisinin Temelleri, İstanbul üniversitesi, Yayın No:4661, İstanbul.
- Varlık, C., Uğur, M., Gökoğlu, N. ve Gün, H. (1993). Su Ürünlerinde Kalite Kontrol İlke ve Yöntemleri. Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın No:17, Ayrıntı Matbaası, Ankara.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernandez-Lopez, J. ve Perez-Alvarez, J.A., (2008). Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet, International Journal of Food Science and Technology, 43, 526–531.
- Wheaton, F.W. ve Lawsont, B. (1985). Processing Aquatic Food Products. Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, London.
- Yerlikaya, P., Gökoğlu, N., ve Topuz, O.K., (2010). Use of natural plant extracts in batter coating of shrimp and their effects on the quality of shrimp during frozen storage. Journal of Food Processing and preservation, 34:127-138.

## Vibration Control of A Beam Under A Moving Mass Through Adjusting Trapezoidal Velocity Profile

Hira Karagülle<sup>1</sup>, Murat Akdağ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Izmir University of Economics, Faculty of Engineering, Department of Mechatronic Engineering, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, İzmir, Türkiye

hira.karagulle@gmail.com , \* murat.akdag@deu.edu.tr 

Received date:09.09.2022, Accepted date: 02.02.2023

### Abstract

In this article, the residual vibration of a simply supported beam with a moving mass is studied. The mass moves from a starting point to an end point on the beam with a trapezoidal velocity profile having accelerating, constant velocity and decelerating time intervals. The residual vibration of the mid-point of the beam after the mass stops is analyzed. The mathematical model of the system is developed using the finite element (FE) theory. Newmark method is used for the solution of FE model having time dependent matrices because of the moving mass. The model is verified by comparing the solution results with the results given in the previous studies in the literature. It is seen that the relationship between the natural frequency of the system and the velocity profile of the moving mass has an effect on the residual vibration of the structure. If the natural frequency of the system and the inverse of the deceleration time interval of the moving mass are equal while the moving mass is at the stopping position, residual vibrations occur at a minimum level. It seen that with the right speed profile selection, the decrease in vibration levels approaches 70% during the movement and 80% after stopping.

**Keywords:** Moving mass, simply supported beam, vibration control, finite element analysis, Newmark method

## Trapez Hız Profiline Ayarlanması Yoluyla Hareketli Bir Kütle Altındaki Kirişin Titreşim Kontrolü

### Öz

Bu makalede, hareketli bir kütleyle sahip basit mesnetli bir kirişin artık titreşimi incelenmiştir. Kütle kiriş üzerinde başlangıç noktasından bitiş noktasına ivmelenen, sabit hız ve yavaşlayan zaman aralıklarına sahip trapez hız profili ile hareket etmektedir. Kütle durduktan sonra kirişin orta noktasının artık titreşimi analiz edilir. Sistemin matematiksel modeli, sonlu elemanlar (FE) teorisi kullanılarak geliştirilmiştir. Hareketli kütle nedeniyle zamana bağlı matrislere sahip FE modelinin çözümü için Newmark yöntemi kullanılmıştır. Model, çözüm sonuçları ile literatürde daha önce yapılan çalışmalarda verilen sonuçlar karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sistemin doğal frekansı ile hareket eden kütle hız profili arasındaki ilişkinin yapının artık titreşimi üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Hareketli kütle durma konumunda iken sistemin doğal frekansı ile hareket eden kütle hız profiline tersi eşit ise artık titreşimler minimum seviyede oluşur. Doğru hız profili seçimi ile titreşim seviyelerindeki düşüşün hareket sırasında %70'e, durduktan sonra ise %80'e yaklaştığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hareketli kütle, basit mesnetli kiriş, titreşim kontrolü, sonlu elemanlar analizi, Newmark yöntemi.

### INTRODUCTION

Reducing vibrations in structures such as cranes and large-span cartesian robots is important for load positioning. The trend of lightening such structures has been increasing in recent years, but residual vibrations deteriorate the operational performance of such cranes and cartesian robots (Golovin, 2021).

The dynamic response and vibration control of structures with moving masses or loads has been an active research area since 1849 (Ryu and Kong, 2012). It has applications in the engineering systems like bridges, pipes, cranes, etc. There are a large number of articles published in this area. Here a



summary of the review of the literature is given considering recent years.

Mohanty et al. (2019) proposed a nonlinear model to consider the coupling of beam and mass interaction for different boundary conditions. Ebrahimi-Mamaghani et al. (2020) investigated the forced and free vibration of axially graded Rayleigh and Bernoulli-Euler beams under moving load. Their model considered axial material gradation and rotary inertia factor. Dyniewicz et al. (2019) studied a nonlinear Gao beam under a moving mass or a massless point-force. They suggested that Bernoulli-Euler beam models may be used when the loads are small while Gao beam allows for moderate loads. Hamza et al. (2020) used the modeling language Modelica to study a simply supported beam under moving mass excitation. They proposed a vibration absorber attached to the moving mass to attenuate excessive vibrations.

Zhang et al. (2020) considered a periodically supported beam excited by a moving load and compared the results obtained by Bernoulli-Euler and Timoshenko beam formulations. They observed large differences for the analysis of parametric excitation. Dimitrovova (2017) gave the solution for the moving mass problem for finite and infinite beams on viscoelastic two-parameter foundation. They observed that in systems with damping, mass induced vibrations stopped over time. Assie et al. (2021) investigated the dynamic response of thick Timoshenko perforated beams under a moving load. They used equivalent bending stiffness depending on number of holes and the filling ratio which is defined as the ratio of material thickness between two holes to the period length. They analyzed the effect of perforation parameters on the dynamic behavior of beams.

Ryu and Kong (2012) investigated active vibration control of simply supported beams with a moving mass numerically and experimentally. They used Galerkin's mode summation method and fuzzy control. Seifoori et al. (2021) presented theoretical and experimental results on the dynamic response of thin rectangular plates subjected to moving mass. They used the classical plate theory and eigenfunction expansion theory. Rezaei and Porseifi (2018) used on-line neural network controller for vibration suppression of a simply supported beam under a moving mass. Ganjefar et al. (2015) used self-recurrent wavelet neural networks as an identifier and as a controller to suppress the vibration of a beam

under a moving mass excitation. Zrníc et al (2013) considered the theoretical studies of moving loads on crane structures and discussed how to convert theoretical ideas into designing realistic mega quayside cranes. Foyuazat et al. (2018) studied the dynamics of a viscoelastic plate on a viscoelastic Winkler foundation with a moving mass on it.

Kiani (2017) studied the dynamic response of a functionally graded carbon nanotube reinforced composite cylindrical panel subjected to moving load on the panel surface. Frediani and Hosseini (2020) investigated the dynamic response of a simply supported relatively thick composite sandwich curved beam under a moving mass. They considered the rotary inertia and the transverse shear deformation.

Golovin and Palis (2020) presented a distributed parameter model of large gantry cranes. A nonlinear stabilizing control has been proposed to suppress horizontal oscillations excited by trolley motion. Golovin (2021) also studied various control strategies for vibration control in large gantry cranes. Golovin and Palis (2019) gave a robust controller design by the  $H_\infty$  loopshaping design procedure for active damping of gantry crane vibrations. They verified the procedure on a laboratory gantry crane experimentally. Xin et al. (2018) studied the structural vibration of ladle cranes. They considered cabin quality, position and structural damping of the main beam. They developed a mathematical model based on Lagrange's equation and verified the results with the results given by Esmailzadeh and Ghorashi (2007), and by Wu (2008).

There are studies on the passive vibration control of residual vibration in manipulators by input shaping. Ankaralı and Diken (1997) presented that the residual vibration of a single link driven by cycloidal rise motion can be suppressed for certain rise motion frequencies. Akdag and Sen (2021) considered shaping of S-curve velocity profiles. Shaping trapezoidal velocity profiles were considered theoretically and experimentally in the studies by Malgaca et al. (2016), Yavuz et al. (2016), and Karagülle et al. (2017) for a single link manipulator with a curved beam, for a single link composite manipulator, and for a two-link manipulator, respectively. It was observed that the selection of the deceleration time equals the first natural period suppresses the residual vibrations. Nguyen and Ngo (2016) developed three control algorithms based on



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1172085

input shaping method to suppress the residual vibration of a flexible beam. Li et. al.(2009) presented a low-vibration motion profile generation method to reduce the residual vibration. In the proposed motion profile, the acceleration profile is designed by using a level-shifted sinusoidal waveform to have an s-shape in order to control its change rate. Liu and Chen (2018) presented the new S-curve motion profile which are shaped by the continuous input shaper, that can greatly lower the vibration and shorten the settling time.

In this study, a simply supported beam with a moving mass is considered. The mass has a trapezoidal velocity profile which has three time intervals. These parts of the velocity profile are acceleration, constant velocity and deceleration. As the position of the moving mass changes, the natural frequency of the system also changes. The highest vibrations occur when the moving mass stops at the midpoint of the beam. Therefore, this position has been taken up. After the moving mass stopped, residual vibrations in the system are investigated. The effect of the relationship between the velocity profile of the moving mass and the natural frequency of the mass at stopping position on residual vibrations is researched in this study. It is seen that vibrations can be significantly reduced with the right velocity profile.

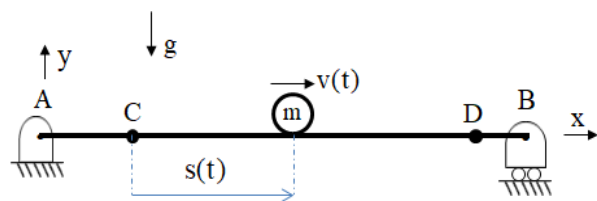
**MATERIAL AND METHODS**

**Modelling By Using FE Theory**

**Obtaining FEM of the system**

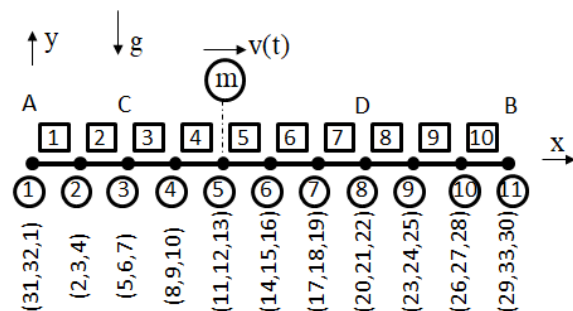
A MatLab code is developed and for this finite element analysis theory is based (Karagulle,2017). The system examined is shown in Fig 1. It is assumed that this system, located in the X-Y plane, makes lateral vibrations only in the Y direction. At points A and B at the ends of the beams, the freedom of rotation in the Z direction is open, and the freedom of rotation in the X and Y directions is closed. However, the effect of the weight of the car traveling in the system on the natural frequency of the rod is examined and there is no force component in the Z direction. Therefore, only lateral vibrations in the Y direction are considered. The beam is simply supported with a pin-joint at A and a roller at B. The

length of the beam is  $L_{AB}$ . A moving mass,  $m$ , is located at C at the time  $t=0$ . The mass moves from C to D and it is located at D at the time  $t=t_m$ . The distances from A to C, from C to D, and from D to B are  $L_{AC}$ ,  $L_{CD}$ , and  $L_{DB}$ , respectively. The origin of the Cartesian coordinates  $(x,y,z)$  is placed at A. The instantaneous travelling distance of the mass is  $s(t)$ . The gravity  $(g=9.81 \text{ m/s}^2)$  is in the  $-y$  direction. The beam length, the starting and stopping positions of the moving mass are defined by the vector  $q_p=[L_{AB}, L_{AC}, L_{AD}]$  in meters.



**Figure 1.** The system under study

The finite element model of the system is shown in Fig. 2.



**Figure 2.** Finite element model

The numbers in the circles are the node numbers. The numbers in the squares are FE identification numbers. The analysis in the x-y plane is considered and each node has 3 degrees of freedom. The identification numbers of 3 displacements for each node are given in the parentheses. For example, FE-4 has Node-4 at its origin and Node-5 at the far end. The displacements for Node-5 are  $d_{s11}$ ,  $d_{s12}$ , and,  $d_{s13}$  respectively.  $x_4$ ,  $y_4$  and  $z_4$  are local Cartesian coordinates of FE-4. The local origin of FE-4 is at Node-4 and  $x_4$  axis is towards Node-5. The planar motion is considered, and thus  $z_4$  axis is always parallel to  $z$  axis.  $d_{s11}$  and  $d_{s12}$  are the displacements in the global  $x$  and  $y$  directions, respectively.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1172085

$d_{s13}=h_4r_{s13}$ , where  $h_4$  is the length of FE-4 and  $r_{s13}$  is the flexural rotation of the cross-section at Node-5. The number of finite elements is  $n_{fe}$ , and it is chosen as 10 in Fig. 2 for explanation. The model can be expanded with more finite element numbers.

The nodal displacements in the x and y directions,  $d_{s31}$  and  $d_{s32}$ , are zero for Node-1, because

there is a pin. The nodal displacement in the y direction,  $d_{s33}$ , is zero for Node-11, because there is a roller. The degree of freedom of the system is  $3n_{fe}-3$ , which is 30 for  $n_{fe}=10$ . The index numbers of the constrained nodal displacements start with 31 for the example. Beam Finite Elements and their parameters are seen in Table 1.

**Table 1.** Beam finite element model details and their parameters of the system

FE-	FE Node s	Length	Orien tation angle	Identification numbers for displacements at nodes
1	1,2	$h=L_{AB}/10$	0	31,32,1,2,3,4
2	2,3	h	0	2,3,4,5,6,7
3	3,4	h	0	5,6,7,8,9,10
4	4,5	h	0	8,9,10,11,12,13
5	5,6	h	0	11,12,13,14,15,16
6	6,7	h	0	14,15,16,17,18,19
7	7,8	h	0	17,18,19,20,21,22
8	8,9	h	0	20,21,22,23,24,25
9	9,10	h	0	23,24,25,26,27,28
10	10,11	h	0	26,27,28,29,31,30

Finite Element analysis theory is given in many textbooks. The displacement ( $\mathbf{d}_{eln}$ ), stiffness ( $\mathbf{k}_{eln}$ ), force ( $\mathbf{f}_{eln}$ ), and mass ( $\mathbf{m}_{eln}$ ) matrices in local coordinates of a finite element (FE-n) are given in

Equation 1 and 2. The node numbers are j at the local origin, and k at the far end of FE-n. Flexural bending is about the z axis.

$$\mathbf{d}_{eln} = \begin{Bmatrix} u_{jn} \\ v_{jn} \\ h_n r_{jn} \\ u_{kn} \\ v_{kn} \\ h_n r_{kn} \end{Bmatrix} \quad \mathbf{k}_{eln} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{h} & 0 & 0 & -\frac{AE}{h} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{h^3} & \frac{6EI}{h^2} & 0 & \frac{-12EI}{h^3} & \frac{6EI}{h^2} \\ 0 & \frac{6EI}{h^2} & \frac{4EI}{h} & 0 & \frac{-6EI}{h^2} & \frac{2EI}{h} \\ -\frac{AE}{h} & 0 & 0 & \frac{AE}{h} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EI}{h^3} & \frac{-6EI}{h^2} & 0 & \frac{12EI}{h^3} & \frac{-6EI}{h^2} \\ 0 & \frac{6EI}{h^2} & \frac{2EI}{h} & 0 & \frac{-6EI}{h^2} & \frac{4EI}{h} \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\mathbf{f}_{\text{eln}} = \begin{Bmatrix} F_{jnx'} + q_{nx'} \frac{h_n}{2} \\ F_{jny'} + q_{ny'} \frac{h_n}{2} \\ T_{jn} + q_{ny'} \frac{h_n^2}{12} \\ F_{knx'} + q_{nx'} \frac{h_n}{2} \\ F_{kny'} + q_{ny'} \frac{h_n}{2} \\ T_{kn} + q_{ny'} \frac{h_n^2}{12} \end{Bmatrix} \quad \mathbf{m}_{\text{eln}} = \frac{\rho Ah}{420} \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 \\ 0 & 156 & 22h & 0 & 54 & -13h \\ 0 & 22h & 4h^2 & 0 & 13h & -3h^2 \\ 70 & 0 & 0 & 140 & 0 & 0 \\ 0 & 54 & 13h & 0 & 156 & -22h \\ 0 & -13h & -3h^2 & 0 & -22h & 4h^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

FE's with equal sizes and uniform cross-sectional areas are considered. The beam has homogeneous and isotropic material properties.  $L_{AB}$  is the length,  $A$  is the cross sectional area, and  $I$  is the cross sectional area moment of inertia of the beam.  $E$  is the modulus of elasticity,  $\rho$  is the density.  $u_{mn}$  is the nodal displacement at Node- $m$  in the  $x_n$  direction, where  $m=j$  or  $k$ .  $v_{nm}$  is the nodal displacement in the  $y_n$  direction.  $r_{nm}$  is the flexural rotation of the cross section at Node- $m$ .  $F_{mnx'}$  and  $F_{mny'}$  are the external load forces at Node- $m$  in the  $x_n$  and  $y_n$  directions respectively.  $T_{mn}$  is the external bending moment at Node- $m$ .  $q_{nx'}$  and  $q_{ny'}$  are the distributed external loads on the FE- $n$  in the  $x_n$  and  $y_n$  directions, respectively.

The displacement ( $\mathbf{d}_{\text{egn}}$ ) and stiffness ( $\mathbf{k}_{\text{egn}}$ ), force ( $\mathbf{f}_{\text{egn}}$ ), and mass ( $\mathbf{m}_{\text{egn}}$ ) matrices of FE- $n$  in global coordinates equal to  $\mathbf{d}_{\text{eln}}$ ,  $\mathbf{f}_{\text{eln}}$ ,  $\mathbf{k}_{\text{eln}}$ , and  $\mathbf{m}_{\text{eln}}$ , respectively, because the orientation of all the FE's are zero.

The mathematical model of the system is given below

$$\mathbf{m}_s \ddot{\mathbf{d}}_s + \mathbf{c}_s \dot{\mathbf{d}}_s + \mathbf{k}_s \mathbf{d}_s = \mathbf{f}_s$$

Here,  $\mathbf{m}_s$ ,  $\mathbf{c}_s$ ,  $\mathbf{k}_s$ ,  $\mathbf{d}_s$ ,  $\mathbf{f}_s$  are respectively system mass matrix, system damping matrix, system stiffness matrix, system displacement matrix, system force matrix. The sizes of  $\mathbf{d}_s$  and  $\mathbf{f}_s$  are  $30 \times 1$ , and the sizes of  $\mathbf{m}_s$ ,  $\mathbf{c}_s$ , and  $\mathbf{k}_s$  are  $30 \times 30$  for the configuration in Fig. 2. As examples,  $\mathbf{d}_s(18,1) = d_{s18}$ , which is the displacement of Node-7 in the  $y$  direction.  $\mathbf{f}_s(15,1) = f_{s15}$ , which is the external force at Node-6 in the  $y$  direction.

$6 \times 6$  sized global matrices are assembled to create the system stiffness ( $\mathbf{k}_s$ ) and the mass ( $\mathbf{m}_s$ ) matrices. Such as,

$$\mathbf{k}_s(15,14) = \mathbf{k}_{\text{eg5}}(5,4) + \mathbf{k}_{\text{eg6}}(2,1) \quad \text{and} \\
 \mathbf{m}_s(15,14) = \mathbf{m}_{\text{eg5}}(5,4) + \mathbf{m}_{\text{eg6}}(2,1)$$

The combination of (15,14) exists in FE-5 and FE-6 as observed in Table-2.1. The combination of (15,14) is the combination of (5,4) for the FE-5 matrix, and the combination of (2,1) for FE-6 matrix.

The moving mass  $m$ , which is located at Node-5 instantaneously, is added to the system mass matrix as the following considering the kinetic energy.

$$\mathbf{m}_s(11,11) = \mathbf{m}_{\text{eg4}}(4,4) + \mathbf{m}_{\text{eg5}}(1,1) + m \quad \text{and} \\
 \mathbf{m}_s(12,12) = \mathbf{m}_{\text{eg4}}(5,5) + \mathbf{m}_{\text{eg5}}(2,2) + m$$

This addition is cancelled as the mass moves from Node-5 to Node-6 and revised as

$$\mathbf{m}_s(14,14) = \mathbf{m}_{\text{eg5}}(4,4) + \mathbf{m}_{\text{eg6}}(1,1) + m \quad \text{and} \\
 \mathbf{m}_s(15,15) = \mathbf{m}_{\text{eg5}}(5,5) + \mathbf{m}_{\text{eg6}}(2,2) + m$$

It is noted that the global mass matrix,  $\mathbf{m}_s$ , changes because of the moving mass, so it is time dependent.

#### Damping:

The Rayleigh damping is considered as

$$\mathbf{c}_s = \eta \mathbf{m}_s + \beta \mathbf{k}_s$$

where,  $\eta$  and  $\beta$  are damping coefficients (Thomson and Dahleh, 1988).

#### Motion:

The trapezoidal velocity profile of the mass is defined by the vector  $q_v = [t_m, t_a, t_c, t_d, t_r]$  in seconds as shown in Fig. 3 (a). The residual vibration occurs at the time interval  $t_r$  after the mass stops at  $t = t_m$ . The integral of  $v(t)$  is the distance travelled by  $m$  and it is found as  $L_{CD} = v_0(0.5t_a + t_c + 0.5t_d)$ .

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1172085

The travelling distance of the moving mass from one node to the adjacent node equals to the size of FE's, and given as  $\Delta s = s_{i+1} - s_i = h = L_{AB}/n_{fe}$ . Here  $i=1$  to  $N$ ,  $N=n_{fe}+1$ ,  $s_1=0$  and  $s_N=L_{CD}$ . The travelling time of

the moving mass from one node to the adjacent node is  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ .  $\Delta t_i$  changes in the time intervals  $t_a$  and  $t_d$ . The following equations can be derived and are used calculate  $\Delta t_i$ .

$$\begin{aligned}
 t_i &= \sqrt{\frac{2t_a s_i}{v_0}} & v_i &= \frac{v_0 t_i}{t_a} & a_i &= \frac{v_0}{t_a} & \text{for } 0 \leq t < t_a \\
 t_i &= \frac{s_i - s_a}{v_0} + t_a & v &= v_0 & a_i &= 0 & \text{for } t_a \leq t < t_M - t_d \\
 s_i &= \frac{-v_0(t_i - t_m + t_d)^2}{2t_d} + v_0(t_i - t_M + t_d) + v_0(t_M - t_d - t_a) + 0.5v_0 t_a & & & & & \text{for } t_M - t_d \leq t < t_M \\
 v_i &= -\frac{v_0(t_i - t_M + t_d)}{t_d} + v_0 & a_i &= -\frac{v_0}{t_d} & & & \\
 v_i &= 0 & s_i &= L_{CD} & a_i &= 0 & \Delta t_i = \Delta t_r \quad \text{for } t_M \leq t \leq t_M + t_r
 \end{aligned}$$

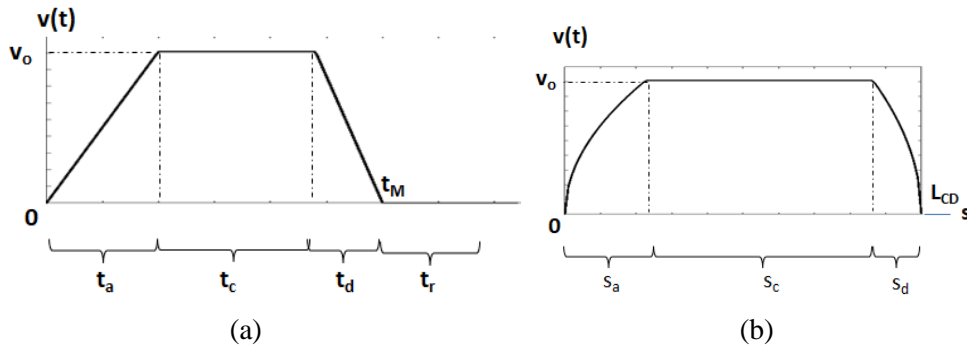


Figure 3. Velocity profile a) with respect to time, b) with respect to travelling distance

Here,  $a_i$  is the acceleration of the moving mass at  $t_i$ . The FE size,  $\Delta s=h$ , determines  $\Delta t_i$  for  $0 \leq t \leq t_m$ .  $\Delta t_i = \Delta t_r$  is assigned freely considering the natural frequencies to analyze the residual vibration.

**Forces:**

There are gravity and inertia forces on the moving mass and distributed gravity forces on the beam. The distributed gravity force on FE-n is  $q_{ny} = -\rho_n A_n g$ , where  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ . For example, nodal forces for Node-7 are generated due to distributed forces for FE-6 and FE-7. So, the following can be written for the elements of the nodal force vector,  $f_s$ , corresponding to Node-7.

$$\begin{aligned}
 f_s(18,1) &= q_{6y} h_6 / 2 + q_{7y} h_7 / 2, & \text{and} \\
 f_s(19,1) &= q_{6y} h_6^2 / 12 + q_{7y} h_7^2 / 12.
 \end{aligned}$$

The gravity and inertia forces of the moving mass are  $-mg$  in the y direction and  $-ma_i$  in the x

direction, respectively. These forces are added to the system force matrices as

$$f_s(12,1) = q_{4y} h_4 / 2 + q_{5y} h_5 / 2 - mg, \quad f_s(11,1) = -ma_3,$$

when the moving mass is located at Node-5.

These additions are cancelled when the moving mass moves from Node-5 to Node-6 and revised as

$$f_s(15,1) = q_{5y} h_5 / 2 + q_{6y} h_6 / 2 - mg, \quad f_s(14,1) = -ma_3,$$

when the moving mass is located at Node-6.

**Vibration signals:**

Let  $d_{\text{sensor}} = d_s(\text{nsensor}, 1)$ . The vibration in the y direction at the mid-point or at the stopping point is considered.  $n_{\text{sensor}}$  equals to 15 for the mid-point in the configuration in Fig. 2.  $n_{\text{sensor}}$  equals to 21 for the stopping-point at D in the configuration in Fig. 2. The second derivative of  $d_{\text{sensor}}$  is the acceleration signal and denoted by  $a_{\text{sensor}}$ .

**Modal Analysis**

For this analysis, the following eigenvalue equation is solved.

$$|-\omega^2 \mathbf{m}_s + \mathbf{k}_s| = 0$$

$\omega$  is the un-damped natural frequencies of the system  $\omega_1 T_1 = 2\pi$ , where  $T_1$  is the period corresponding the first natural frequency in seconds.  $f_1 = 1/T_1$  is the first natural frequency in Hz.  $\mathbf{m}_s$  changes because of the moving mass. Thus natural frequencies are changing depending on the position of the moving mass.

**Newmark Method for Transient Analysis**

The Newmark method (Newmark, 1959) is a numerical integration method used to solve differential equations and is used transient analysis. A time step,  $\Delta t$ , is chosen for the solution as  $\Delta t < T_{max}/20$ , where  $T_{max}$  is the period for the highest natural frequency considered. Knowing the solution at a time step, the solution at the subsequent time step is found by the numerical integration.  $t_i$  and  $t_{i+1}$  are the

successive values for the time, and  $\Delta t_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ . Let  $\mathbf{m}_i$ ,  $\mathbf{c}_i$ ,  $\mathbf{k}_i$ ,  $\mathbf{d}_i$ , and  $\mathbf{f}_i$  be the system mass, damping, stiffness, nodal displacement and nodal force matrices ( $\mathbf{m}_s$ ,  $\mathbf{c}_s$ ,  $\mathbf{k}_s$ ,  $\mathbf{d}_s$ , and  $\mathbf{f}_s$ ) at the time step  $t_i$ .

The Newmark solution is seen as  
 $[a_0 \mathbf{m}_{i+1} + a_1 \mathbf{c}_{i+1} + \mathbf{k}_{i+1}] \mathbf{d}_{i+1} = \mathbf{f}_i + \mathbf{m}_i [a_0 \mathbf{d}_i + a_2 \dot{\mathbf{d}}_i + a_3 \ddot{\mathbf{d}}_i] + \mathbf{c}_i [a_1 \mathbf{d}_i + a_4 \dot{\mathbf{d}}_i + a_5 \ddot{\mathbf{d}}_i]$   
 $\ddot{\mathbf{d}}_{i+1} = a_0 [\mathbf{d}_{i+1} - \mathbf{d}_i] - a_2 \dot{\mathbf{d}}_i - a_3 \ddot{\mathbf{d}}_i$ ,  $\dot{\mathbf{d}}_{i+1} = \mathbf{d}_i + a_6 \dot{\mathbf{d}}_i + a_7 \ddot{\mathbf{d}}_i$   
 where

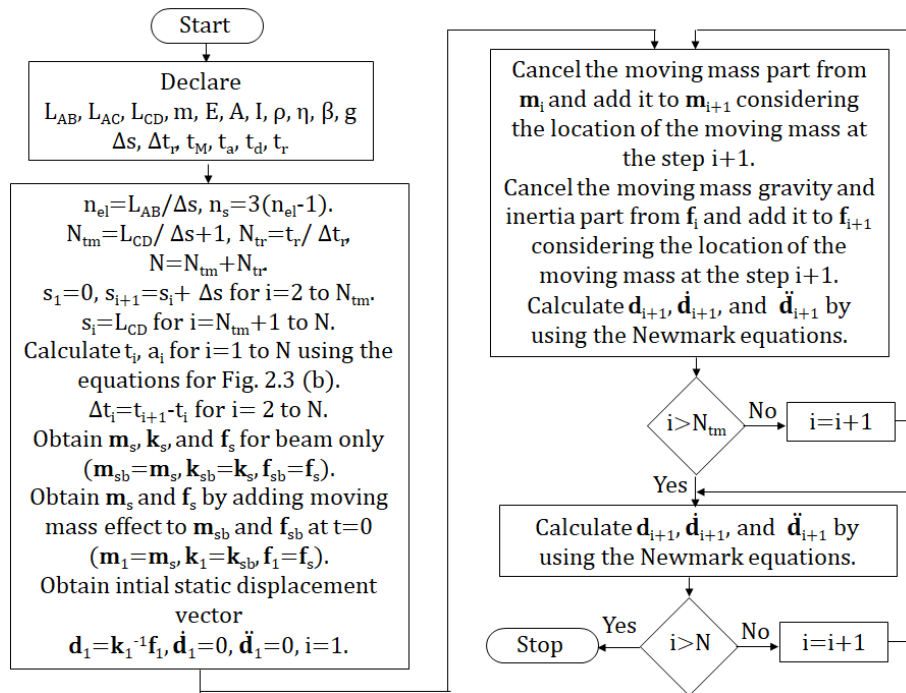
$$a_0 = \frac{1}{\alpha \Delta t_{i+1}^2}, a_1 = \frac{\delta}{\alpha \Delta t_{i+1}}, a_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t_{i+1}}, a_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1, a_4 = \frac{\delta}{\alpha} - 1$$

$$a_5 = \frac{\Delta t_{i+1}}{2} \left( \frac{\delta}{\alpha} - 2 \right), a_6 = \Delta t_{i+1} (1 - \delta), a_7 = \delta \Delta t_{i+1}, \alpha = \frac{1}{4} (1 + \gamma)^2$$

$$\delta = \frac{1}{2} + \gamma$$

$\gamma$  is the amplitude decay factor, and it is taken as 0.005 in this study.

The flow chart of the MatLAB program which gives the samples of  $\mathbf{d}_s$ ,  $\dot{\mathbf{d}}_s$ , and  $\ddot{\mathbf{d}}_s$  is shown in Fig. 4.



**Figure 4.** Flow chart of MatLAB program

**VERIFYING FE MODEL**

Example-1 is considered and simulation results are compared with the results given by Esmailzadeh and Ghorashi (1995), Xu et al. (2018), Wu (2008).

The numerical values for the example are given as  $L_{AB} = 10$  m,  $L_{AC} = L_{DB} = 0$ ,  $m = 70$  kg,  $q_v = [3, 0, 0, 0]$  s. Beam section dimensions:  $0.007646$  m x  $0.11774$  m.  $I = 1.04 \times 10^{-6}$  m<sup>4</sup>.  $E = 206.8$  GPa,  $\rho = 7820$  kg/m<sup>3</sup>.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1172085

$n_{el}=200$ ,  $\eta=0$ ,  $\beta=0$ . The result is shown in Fig. 5. The mid-point deflection value for  $t=0$  is  $-20.9058$  mm, and it is considered in the result. It is observed that the resulting response is in good agreement with the results given by Esmailzadeh and Ghorashi (1995), Xu et al. (2018), Wu (2008).

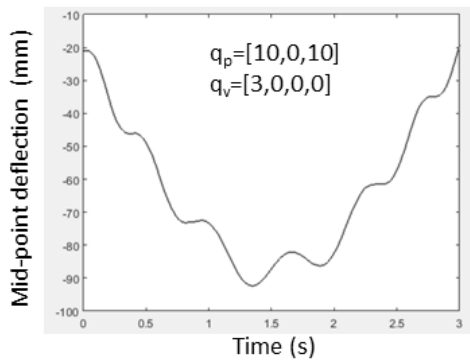


Figure 5. Mid-point deflection for Example-1

### SIMULATION RESULTS AND DISCUSSIONS

#### Modal Analysis for Example-1

The change of the first natural frequency of the system for Example-1 depending on the location of the moving mass is shown in Fig. 6.

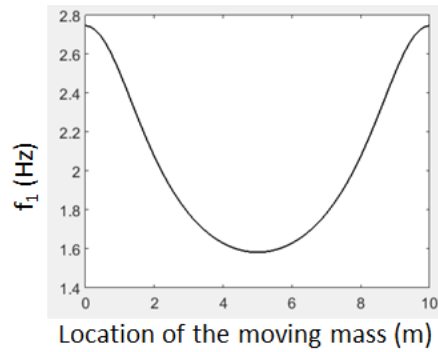


Figure 6. First natural frequency versus location of the moving mass

It is observed that the first natural frequency changes as 1.5830- 2.7455 Hz. It is minimum when the moving mass is located at the mid-point.

#### Analysis of effect of velocity profile for Example-1

The residual vibration and the effect of the velocity profile are studied in this section. This analysis is important for the structures like cranes. Various results are given in Fig. 7, 8 and 9 for different  $q_p$  and  $q_v$ .

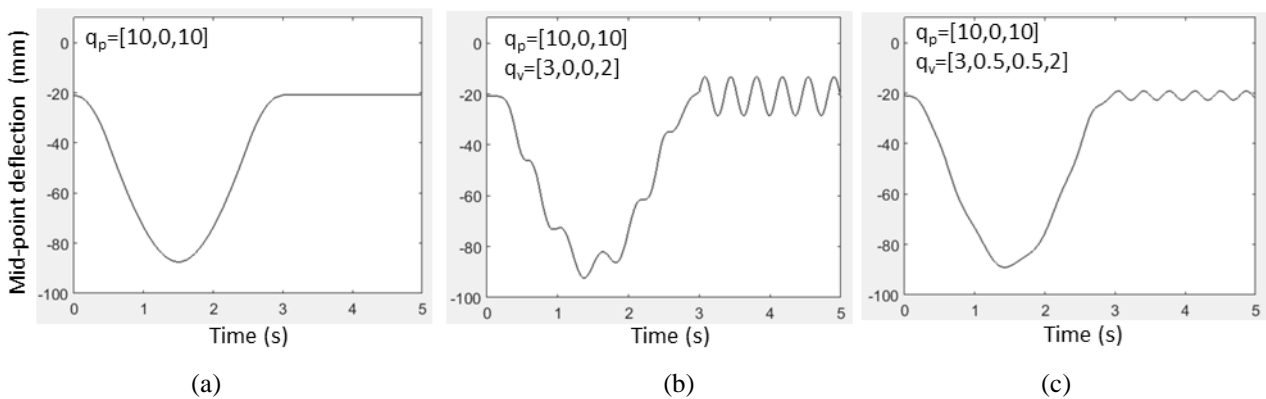


Figure 7. Mid-point deflections for (a) static solution, and (b) and (c) dynamic solutions for various velocity profiles

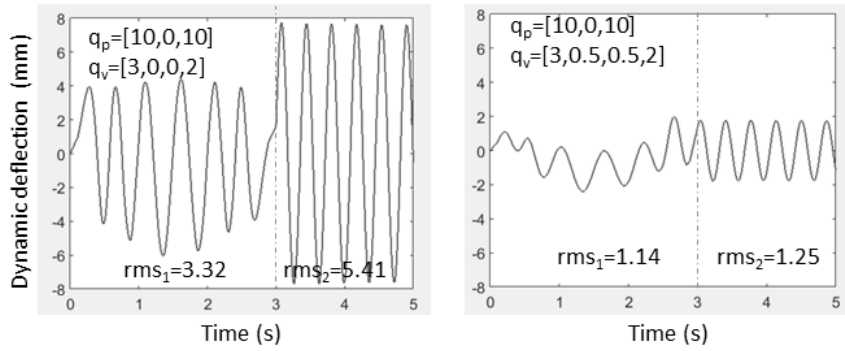


Figure 8. Mid-point dynamic deflections for solutions for various velocity profiles

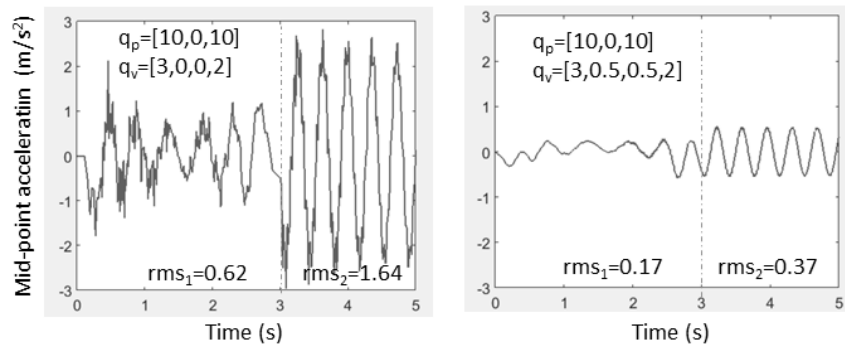


Figure 9. Mid-point accelerations for solutions for various velocity profiles

The deflection for the static solution in Fig. 7 (a) is subtracted from the deflections for the dynamic solutions in Fig. 7 (b) and (c) and the dynamic deflections shown in Fig. 8 are obtained. The midpoint accelerations are shown in Fig. 9. There are two regions in the results. Region-1 is for  $0 \leq t \leq t_m$ , and Region-2 for  $t_m \leq t \leq t_m + t_r$ . Region-1 is the time interval when the moving mass is in motion. Region-2 is the time interval for the residual vibration. Reducing the residual vibration is important in the systems like cranes. The vibration levels are

evaluated by calculating the root mean square (rms) values. Let the rms values are  $rms_1$  and  $rms_2$  for the Region 1 and 2, respectively. The changes in the vibration levels are evaluated in Table 2.

The acceleration and deceleration times are changed from 0 to  $0.5t_m$  with equal values ( $t_a=t_d$ ). The changes of  $rms_1$  and  $rms_2$  values with respect to  $t_d$  are shown in Fig. 10 and 11 for different cases. The constant velocity for a case with  $t_d=0$  is given as  $v_0=L_{CD}/t_m$ .

Table 2. Vibration levels for the case  $q_p=[10,0,10]$

	$q_v=[3,0,0,2]$	$q_v=[3,0.5,0.5,2]$	Reduction <sup>1</sup>
Region-1/deflection	3.32	1.14	%66
Region-1/acceleration	0.62	0.17	% 68
Region-2/deflection	5.41	1.25	%77
Region-2/acceleration	1.64	0.37	%77

<sup>1</sup> Reduction is calculated as  $100(3.32-1.14)/3.32=66$  for example

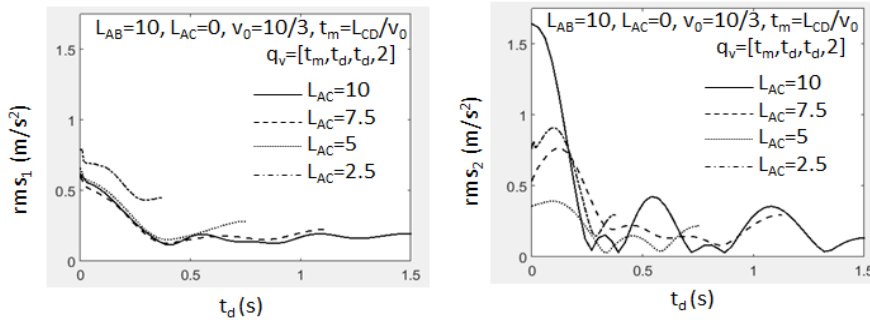


Figure 10. Change of rms values for different travelling distances with equal  $v_0$

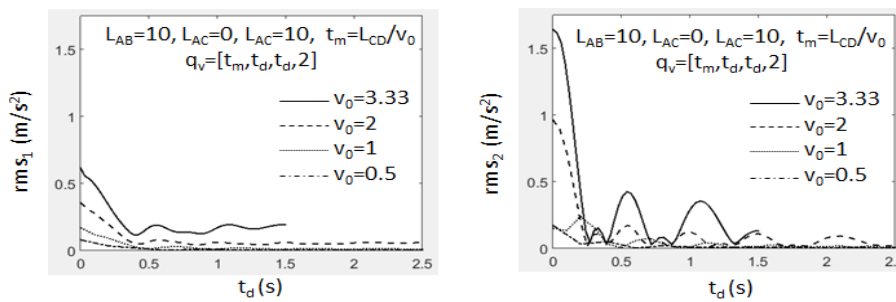


Figure 11. Change of rms values with respect to  $t_d$  for different travelling velocities

It is observed that the rms values depend on  $t_d$ . The vibration level in Region-2 is more sensitive to  $t_d$ . It is possible to reduce the residual vibration independent on the travelling distance and motion times.

The change of  $rms_2$  values with respect to  $t_d$  for different lengths of beams are shown in Fig. 12. The moving mass starts from the point-A and stops at the mid-point. It is observed that the longer beam length the higher  $t_d$  at which the vibration levels reduce.

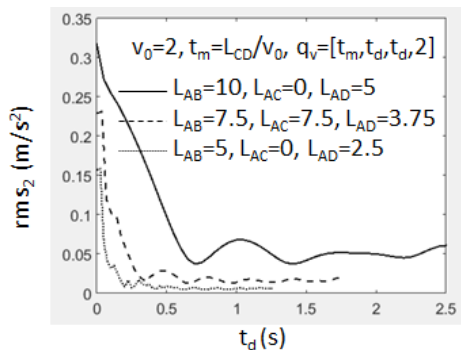


Figure 12. Change of  $rms_2$  values with respect to  $t_d$  for different lengths of beams

Let  $f_{1m}$  be the first natural frequency for the system when the moving mass stops at the mid-point, and  $T_{1m}=1/f_{1m}$ .  $T_{1m}$  is the period in second determined by  $f_{1m}$ .  $f_{1m}$  equals to 1.58 Hz for  $L_{AB}=10$  m, 2.55 Hz for  $L_{AB}=7.5$  m, and 4.9 Hz for  $L_{AB}=5$  m.  $f_{1m}$  increases as the length of the beam decreases, because the beam becomes more rigid.  $T_{1m}$  equals to 0.63 s for  $L_{AB}=10$  m, 0.39s for  $L_{AB}=7.5$  m, and 0.20 s for  $L_{AB}=5$  m. It is observed from Fig. 12 that  $t_d$  values at which the vibration levels drop approximately equal to  $T_{1m}$ .

## CONCLUSION

Dynamic analysis of beams with moving masses has been studied for many years and is still an active research area. It has applications in engineering structures such as trains, bridges, and cranes. There is a trend to design lighter structures with masses with higher speeds in recent decades. Faster cargo transportation demand requires less operation times. A lot of gantry cranes are operated at high velocities of crane trolleys. All these developments increased the studies on the vibration control of beams with moving masses.

There are studies on the passive vibration control of single links and two-link manipulators. It was

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1172085

observed that the shaping of velocity profiles results in the control of vibrations in these structures. The residual vibrations are suppressed if the deceleration time equals to the inverse of the first natural frequency of the structure. In this work, this approach is investigated for beams with moving masses. A finite element (FE) model is developed. The mass matrix of the FE model is time dependent because the mass is moving. The transient solutions are obtained by using Newmark method. Trapezoidal velocity profiles are considered where the mass starts the motion with a starting zero velocity, accelerates linearly in an acceleration time interval, continues its motion with a constant velocity with a constant velocity time interval, and then decelerates with a deceleration time interval and stops. The structure continues to vibrate after stopping, which is called as the residual vibration. Residual vibration levels have been found to be sensitive to deceleration times. The natural frequencies of the system are time dependent because of the moving mass. The vibration levels reduce significantly when inverse of the deceleration time equals to the first natural frequency of the system at the stopping position. According to the simulation results obtained, it is seen that not only residual vibrations but also vibration levels during movement decrease. Especially the decrease in residual vibration level approaches 80%.

Cranes, large cartesian robots carry variable loads during operation. The natural frequency of the system depends on both the size of the moving mass and its position on the system. Vibration levels can be kept at a minimum level if the velocity profile of the moving mass is made variable according to the defined work. The results of this study can be used in crane operations where to suppress the residual vibrations after stopping.

#### 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

- Akdağ M. and Şen H. (2021) S-curve motion profile design for vibration control of single link flexible manipulator. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(68), 661-676.
- Ankaralı A. and Diken H. (1997) Vibration control of an elastic manipulator link. *Journal of Sound and Vibration*, 204(1), 162-170.
- Assie A., Akbas S.D., Bashiri H.B., Abdelrahman A.A. and Eltaher M.A. (2021) Vibration response of perforated thick beam under moving load. *European Physical Journal Plus*, 136(283), 15 pages.
- Dimitrova Z. (2017) New semi-analytical solution for a uniformly moving mass on a beam on a two-parameter visco-elastic foundation. *International Journal of Mechanical Sciences*, 127, 142–162.
- Dyniewicz B., Bajer C.A., Kuttler K.A. and Shillor M. (2019) Vibrations of a Gao beam subjected to a moving mass. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 50, 342–364.
- Ebrahimi-Mamaghani A., Sarparast H. and Masoud R. (2020) On the vibrations of axially graded Rayleigh beams under a moving load. *Applied Mathematical Modelling*, 84, 554–570.
- Esmailzadeh E. and Ghorashi M. (1995) Vibration analysis of beams traversed by uniform partially distributed moving masses. *Journal of Sound and Vibration*, 184 (1), 9–17.
- Foyouzat M.A., Estekanchi H.E. and Mofid M. (2018) An analytical-numerical solution to assess the dynamic response of viscoelastic plates to a moving mass. *Applied Mathematical Modelling*, 54, 670–696.
- Freidani M. and Hosseini M. (2020) Elasto-dynamic response analysis of a curved composite sandwich beam subjected to the loading of a moving mass. *Mechanics of Advanced Composite Structures*, 7, 347–354.
- Ganjefar S., Rezaei S. and Pourseifi M. (2015). Self-adaptive vibration control of simply supported beam under a moving mass using self-recurrent wavelet neural networks via adaptive learning rates. *Meccanica*, 50(12), 2879-2898.
- Golovin I. (2021) Model-based control for active damping of crane structural vibrations. PhD Thesis, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg.
- Golovin I. and Palis S. (2019) Robust control for active damping of elastic gantry crane vibrations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 121, 264–278
- Golovin I. and Palis S. (2020) Modeling and discrepancy based control of underactuated large gantry cranes. *IFAC PapersOnLine*, 53(2),7783–7788

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1172085



- Hamza G., Barkallah M., Hammadi M., Choley J. and Riviere A. (2020) Predesign of a flexible multibody system excited by moving load using a mechatronic system approach. *Mechanics & Industry*, 21(604), 9 pages.
- Karagülle H., Malgaca L., Dirilmiş M., Akdağ M. and Yavuz Ş. (2017) Vibration control of a two-link flexible Manipulator. *Journal of Vibration and Control*, 23(12), 2023–2034.
- Kiani Y. (2017) Dynamics of FG-CNT reinforced composite cylindrical panel subjected to moving load. *Thin-Walled Structures*, 111, 48–57
- Li H., Le M.D., Gong Z.M., Lin W. (2009) Motion profile design to reduce residual vibration of high-speed positioning stages. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 14(2),264-269
- Liu C., Chen Y. (2018) Combined S-curve feedrate profiling and input shaping for glass substrate transfer robot vibration suppression. *Industrial Robot: An International Journal* 45/4, 549–560
- Malgaca L., Yavuz Ş., Akdağ M. and Karagülle H. (2016) Residual vibration control of a single-link flexible curved manipulator. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 67, 155-170.
- Mohanty A., Varghese M.P. and Behera R.K. (2019) Coupled nonlinear behavior of beam with a moving mass. *Applied Acoustics*, 156, 367–377.
- Newmark NM (1959) A method of computation for structural dynamics. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE 85, 67–94.
- Nguyen Q.C., Ngo H.Q.T. (2016) Input shaping control to reduce residual vibration of a flexible beam. *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 32(1), 73–88
- Rezaei S. and Pourseifi M. (2018) vibration suppression of simply supported beam under a moving mass using on-line neural network controller. *Journal of Solid Mechanics*, 10(2),387-399.
- Ryu B., and Kong Y. (2012) dynamic responses and active vibration control of beam structures under a travelling mass. In *Advances on Analysis and Control of Vibrations-Theory and Applications*, 231-252.
- Seifoori S., Parrany A.H. and Darvishinia S. (2021) Experimental studies on the dynamic response of thin rectangular plates subjected to moving mass. *Journal of Vibration and Control* 27(5-6), 685-697.
- Thomson W.T. and Dahleh M.D. (1988) *Theory of vibration with applications*, (3rd edition). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Xin Y., Xu G., Su N. and Dong Q. (2018) Nonlinear vibration of ladle crane due to a moving trolley. *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*, 4, 1-14 pages.
- Wu J.J. (2008) Transverse and longitudinal vibrations of a frame structure due to a moving trolley and the hoisted object using moving finite element. *International Journal of Mechanical Sciences* 50 (4), 613–625.
- Yavuz Ş., Malgaca L. and Karagülle H. (2016) Vibration control of a single-link flexible composite manipulator. *Composite Structures* , 140, 684-691
- Zhang X., Thompson D. and Sheng X. (2020) Differences between Euler-Bernoulli and Timoshenko beam formulations for calculating the effects of moving loads on a periodically supported beam. *Journal of Sound and Vibration* 481 (115432), 14 pages.
- Zrnica N., Gasic V., Bosnjak S. and Dordevic M. (2013). Moving loads in structural dynamics of cranes: bridging the gap between theoretical and practical researches. *FME Transactions* 41(4), 291-297.



## Yanal Yüzeylerinden Çentik Kanal Açılan Sandviç Kompozitlerin Eksenel Darbe Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Sermet Demir\*, Uğur Kemiklioğlu

Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

sdemir@dogus.edu.tr , ukemiklioglu@dogus.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 10.09.2022, Makale kabul tarihi: 27.02.2023

### Öz

Sandviç kompozitler darbe dayanımlarına karşı yüksek mekanik performans göstermeleri sebebiyle hafiflik gerektiren birçok alanda tercih edilmektedir. Sandviç kompozitleri oluşturan elyaflar arasındaki çekirdek (kor) malzemenin hafif olmasının yanı sıra darbe sönümlenme özelliğinin fazla olması bu tür malzemelerin kullanımını etkin hale getirmektedir. Bu çalışma kapsamında çentik kanallı sandviç kompozit panellere uygulanan eksenel darbenin malzeme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Sandviç kompoziti oluşturan yapıda; 3D Core Firması (Herford, Almanya) tarafından temin edilen hegzagonal şeritli bal peteği formundaki polietilen tereftalat (PET) malzeme çekirdek malzeme olarak kullanılmıştır. Çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine simetrik olacak şekilde cam elyaflar istiflenerek vakum infüzyon yöntemi ile kompozit plakalar oluşturulmuştur. Bu plakalar test numunesini oluşturacak belirli boyutlarda kesildikten sonra, plakaların elyaflarının olduğu yüzeylerden tek taraflı ve çift taraflı olmak üzere, sırasıyla 0.35 ve 0.7 mm derinlikte çentik kanallar açılmıştır. Çentik kanalların açıldığı numunelere, özel olarak tasarlanmış eksenel yönlü darbe test cihazında 5, 10, 15 ve 20 Joule enerji seviyelerinde darbe testleri uygulanmıştır. Darbe testleri uygulanan tüm numuneler, sonrasında universal mekanik test cihazında üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur.

Elde edilen test sonuçları incelendiğinde, en yüksek eğilme gerilmesinin tek taraftan 0.7 mm çentik açılmış numunede olduğu görülmüştür. En yüksek şekil değiştirmenin ise çift taraftan 0.7 mm çentik açılmış numunede meydana geldiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bal peteği, çentik, eksenel darbe, sandviç kompozit, üç nokta

## Investigation of Mechanical Properties of Sandwich Composites with Notched Grooves on Lateral Surfaces Under Axial Loads

### Abstract

Sandwich composites are preferred in many areas that require lightweight due to their high mechanical performance against impact resistance. The lightness of the core (core) material between the fibers that make up the sandwich composites and the high-impact damping feature make using such materials effectively. Within the scope of this study, the effect of axial impact applied to sandwich composite panels with notch channels on material properties was investigated.

In the sandwich composite structure, Polyethylene terephthalate (PET) material in the form of honeycomb with hexagonal strips supplied by 3D Core Company (Herford, Germany) was used as the core material. The composite plate was formed by vacuum infusion method by stacking glass fibers symmetrically to the lower and upper surfaces of the core material. After this plate was cut in specific dimensions to form the test sample, notched channels were opened at a depth of 0.35 and 0.7 mm, one-sided and double-sided, respectively, from the surfaces of the fibers of the plates. Impact tests at 5, 10, 15 and 20 Joule energy levels were applied to the samples in which the notched channels were opened in a specially designed axial directional impact test device. All specimens subjected to impact tests were then subjected to a three-point bending test in a universal mechanical testing device.

When the test results were examined, it was seen that the highest bending stress was in the sample with a 0.7 mm notch on one side. It was observed that the highest deformation occurred in the specimen with a 0.7 mm notch from both sides.

**Keywords:** 3-point bending, axial impact, honeycomb, notch, sandwich composite

## GİRİŞ

Kompozit malzemeler makroskopik ölçekte birleştirilen ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşan yapılardan oluşmaktadır (Kaw, 2006). Sandviç yapılı kompozitler; iki ince sert kabuğun nispeten hafif ancak kalın bir ana (kor) malzemeye eklenmesiyle üretilen özel bir kompozit malzeme sınıfı olarak açıklanabilmektedir. Ana malzemenin normalde düşük mekanik özellikte olmasına rağmen içerisine eklenen çekirdek malzemenin sağlamış olduğu düşük yoğunlukla birlikte, bu malzemenin kalınlığı sandviç panele eğilmeye karşı yüksek mukavemet özelliği kazandırmaktadır (Etili, 2021; Potoglu U., 2012). Sandviç kompozitlerin katmanları arasındaki elastik modül ve açılarının farklılığından dolayı yüzey ile çekirdek arasında katmanlar arası gerilmeler oluşur. Burada oluşan kesme ve normal gerilmeler ayrılmaya (delaminasyon) sebebiyet verebilir (Lagunegrand et al., 2005; Pipes ve Pagano, 1970). Bu nedenle sandviç yapının mekanik performans ömrü kısıtlanabilmektedir. Ayrıca, kompozit yapının imalatı sırasında yanlış veya eksik yapılan kürlenme, malzemelerin arasına yabancı cisimlerin girmesi ya da panel üzerinde oluşan deformasyonlara bağlı olarak da ayrılma gerçekleşebilir (Chen et al., 2022). Sandviç panellerin hasara uğramalarına sebep olan başlıca nedenler yüzeyde gerçekleşen maksimum gerilme kriteri ya da çekirdek malzeme ezilme kriteri olarak belirtilmiştir (Atas ve Sevim, 2010; Pıhtılı ve Tanyol, 2022). Bu nedenle yüzeyde oluşan kalıcı hasarların çalışılması büyük önem arz etmektedir.

Ataş ve Sevim PVC köpük çekirdekli ve balsa ahşap çekirdekli sandviç kompozit panellerin darbe tepkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çeşitli darbe enerjileri altında sandviç panellerin hasar süreci ve yük-uzama eğrileri analiz edilmiştir. Gözlenen birincil hasar çeşitleri alt ve üst yüzeyde fiber kırılmaları, cam elyaf katmandaki ayrışma, çekirdekte oluşan kırılmalar ve fiber malzeme ile çekirdek malzemenin ayrışması olarak belirtilmiştir. Yüksek enerji darbe testi uygulanmış numunelerde her iki kompozit için de yük-deformasyon eğrisi iki tepeli dağ şeklinde çıkmıştır. Darbe uygulanmamış yüzde ayrışma yüzeyi küçük olmasına karşın, enerji seviyesi arttıkça bu alanın arttığı gözlenmiştir (Atas ve Sevim, 2010).

Berk ve ark. cam ve aramid epoksi plakaların düşük hızlı, farklı enerji seviyelerinde darbe tepkisi üzerine deneysel ve sayısal bir araştırma yapmışlardır (Berk et al., 2016). Darbe test sonuçlarına göre aramid plaka cam plakadan daha fazla enerji absorbe etmiştir. Absorbe edilen enerji delaminasyon, matris çatlaması, fiber kırılması vb. formlarda dağıldığı belirtilmiştir. Plakanın kullanım ömrünü doğrudan etkileyen bu tür faktörlerin etkisinin araştırılmasının önemi vurgulanmıştır.

Önal ve Temiz balsa çekirdekli sandviç kompozitlerin darbe davranışlarının deneysel olarak incelemiştir (Önal ve Temiz, 2020). Vakum infüzyon yöntemi ile balsa çekirdek üzerine cam elyaf kaplanarak sandviç plaka imalatı yapılmıştır. Üretilen numunelere farklı enerji seviyelerinde düşük hızda darbe testleri uygulanmıştır. Elde edilen neticelere göre dış yüzey tabaka sayısı artırıldıkça, temas kuvvetinin arttığı absorbe edilen enerjinin azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanında çekirdek kalınlığının artırılması absorbe edilen enerjiyi arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple yüzeyde oluşacak hasarlar ya da çekirdek malzeme ile kabuk arasındaki bağlantı zayıflığı ve bozukluğu malzemenin enerji absorbe etme kabiliyetini doğrudan etkilemektedir.

Özen ve Ürkmez Taşkın, alüminyum köpük malzemelerde takviye oranına bağlı darbe davranışını incelemiştir. Darbe enerjisinin, numunenin kırılma yüzeyindeki gözeneklilik oranına, takviye oranına ve alaşımın kimyasal birleşimine göre değiştiği gösterilmiştir (Özen ve Ürkmez Taşkın, 2021). Sandviç kompozit yapının iç formunu oluşturan malzemenin özellikleri kadar kabuk yapının özellikleri ve alabileceği farklı hasarlara karşı darbe enerji emişinin nasıl değişeceğinin incelenmesi yararlı olacaktır. Metin (Metin, 2008) kabuk yapı ile benzer özelliklere sahip cam/epoksi tabakaların düşük hızlı darbe hasarının burkulma özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu deneyler sonucu elde edilen bilgilere göre, düşük hızla darbe uygulanmış numunelerde delaminasyon için gerekli olan enerjinin bir bölümü delinme işlemi sırasında harcandığı için toplam delaminasyon miktarında bir azalma gözlemlenmiştir. Delinme işlemi sonrası delaminasyon miktarındaki azalma numune mukavemetindeki düşüşü daha küçük seviyelerde etkilemiştir.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536

Castanie ve ark. (Castanie et al., 2020) havacılık uygulamalarında kullanılan sandviç yapılarla ilgili çalışmaların bir incelemesini sunmuşlardır. İncelenen çalışmalarda panel üzerine uygulanan hasarların etkileri ve toleransları incelenmiş ve önemi vurgulanmıştır. Uçuş sırasında yüzey hasarlarının aerodinamiğe etkisi ve büyük, küçük hasarların toleransları ile tamir edildikten sonra kullanım ömürlerinde oluşan değişiklikler gösterilmiştir. Bir sandviç kompozit yapının tasarımı, karmaşık kompozit yapıların tasarımının genel zorluğunun bir parçası olduğu belirtilmiştir. Özellikle, sadece malzeme seçimi değil, aynı zamanda yapısal tasarımında çok geniş olduğu ve tam bir metodolojinin olmadığı söylenmiştir. Böylelikle, farklı tasarım ve uygulamaları çalışmanın önemi vurgulanmıştır.

Güven, hasarlı kompozit yapı elemanlarının basma kuvveti altındaki mekanik özelliklerini incelemiştir (Güven, 2021). Düşük hızlarda uygulanan darbeler ile malzemelerde hasar oluşturulmuştur. Uygulanan basma deneyleri neticesinde hasarın mekanik özelliklere etkisi ve yükleme altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen neticelere göre tabaka sayısının artışıdan ziyade sarım açısının daha etkili bir faktör olduğu belirtilmiştir. Düşük dereceli açılarda darbe etkisi gözlemlense de basma kuvveti altında hasar farklı bölgelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. 55 ve üzeri derece açılarda darbe ön hasarlarında, özellikle delaminasyonun etkin olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple dik açılı kabuk yapının incelenmesi diğer değerlerden daha önemlidir.

Bu çalışma kapsamında, yüksek oranda enerji absorbe edebilme özelliğine sahip bal peteği formundaki kor malzeme kullanılarak oluşturulan cam elyaf takviyeli sandviç yapılara farklı kalınlıklarda, tek ve çift yönlü olmak üzere, yüzeysel çentik kanalları açılmış ve aksel darbelerin numunelere etkimesi sonrasında meydana gelen hasar durumları karşılaştırılmıştır. Burada, farklı enerji değerlerindeki darbe kuvvetlerinin çentik kalınlığının etkisine bağlı olarak irdelenen hasar kuvvetleri, darbe alan numunelere uygulanan üç nokta eğme deneyi ile tespit edilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında numunelerin hazırlanması için kullanılan malzemeler ve üretim yöntem, malzeme ve yöntem bölümünde verilmiştir. Ayrıca darbe test cihazı ve testlerin uygulanış biçimleri de aynı bölümde sunulmuştur.

Yapılan üç nokta eğme testleri sonucu elde edilen neticeler sonuçlar bölümünde verilmiştir. Son olarak, araştırmanın sonuçları tartışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Sandviç Kompozit Malzemelerin Üretimi

Test numunesinin üretiminde çekirdek malzeme olarak 3D-Core firması tarafından temin edilen, Şekil 1'de gösterilen 10 mm kalınlığa sahip bal peteği formunda hegzagonal şeritli PET malzeme kullanılmıştır. Sandviç yapının kabuk yüzeylerinin imalatı için 200 gr/m<sup>2</sup> ağırlığında dokuma cam elyaf tercih edilmiştir. Alt ve üst yüzeye simetrik olarak 4 katlı elyaf istiflenmiştir ve bu elyaflardan 1 mm kalınlığa sahip kabuk eleman oluşturulmuştur. Çentik etkisinin en fazla görüleceği elyaf açısı, daha önceki çalışmalar göz önüne alındığında  $\pm 90^\circ$  olduğu görüldüğünden dokuma açısı bu değerde seçilmiştir (Güven, 2021). Özel olarak imal edilmiş bir kompozit üretim masasında, vakum infüzyon yöntemi ile epoksi reçine nüfuz ettirilerek sandviç kompozit panel imal edilmiştir. Reçine malzemesi olarak Huntsman Firmasından (Teksas, ABD) temin edilen Araldite LY 1564, sertleştirici olarak Aradur 2954 malzemeleri kullanılmıştır. Reçine ve sertleştirici karışım oranları ağırlıkça 100:33 olarak ayarlanmıştır. Plakaların üretimi sırasında vakum infüzyon işlemi sonrasında kürleşmenin hızlı olabilmesi için 100°C sıcaklığında 2 saat tutulmuş, sonrasında plakalar vakum altında tutularak masa sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi beklenmiştir. Plakanın kenar kısımları tesfiye edilerek her noktada elde edilebilecek en yüksek homojenlik sağlanmaya çalışılmıştır.

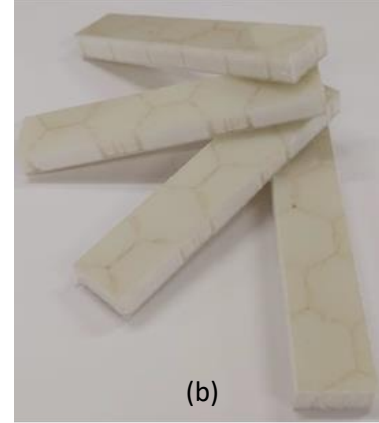
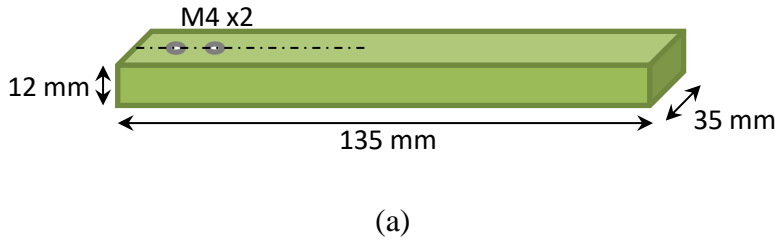


Şekil 1. Sandviç yapı üretiminde kullanılan çekirdek malzeme.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536

Sulu kesme cihazı ile 135 mm x 35 mm ölçülerinde 40 adet numune hazırlanmıştır. Numune sayısı her bir parametre için 3 tekrar olacak şekilde belirlenmiştir. Numuneleri test cihazına monte

edebilmek için üzerine 4 mm çapında delikler açılmıştır. Örnek bir numune ve ölçüleri Şekil 2 de gösterilmektedir.



Şekil 2. Numune görselleri: (a) Numune ölçüleri (b) Kesilmiş numune örnekleri

Numunelerde çentikli kanalların oluşturulması için, numunenin yüzeyine 0.35 mm ve 0.70 mm derinliğinde çentik kanalları açılmıştır. Ayrıca tek ve simetrik çift yüzey olmak üzere iki parametre daha eklenerek 4 farklı numune tipi oluşturulmuştur. Çentik kanalların açılmasında masaüstü hobi CNC makinası kullanılmıştır. Yüksek devirli el motoru z-eksenine paralel bir şekilde sabitlenmiştir. Numuneler CNC tablasına yerleştirildikten sonra üst yüzeyinden sıfırlama işlemi yapılmıştır. Çentik kanallarını oluşturmak için 3 mm çapa sahip küresel freze uç kullanılmıştır. Motor devri 15000 devir/dakikaya ayarlandıktan sonra z-ekseni ilgili uzunluk ölçüsünden aşağıya doğru hareket ettirilmiştir. Çentik kanallar y-ekseni sabit hızda ilerleme verilerek açılmıştır. Yüzeyinde çentik açılmış bir numune örneği Şekil 3 de gösterilmiştir. Bu işlem tüm numuneler için ayrı ayrı tekrar edilmiştir.



Şekil 3. Çentik açma sistemi ve çentik açılmış numune

### Darbe Testleri

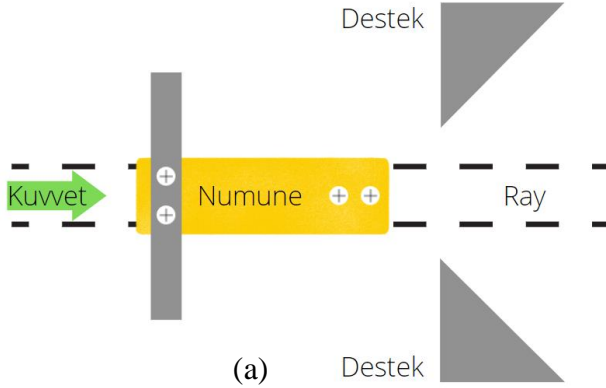
Darbe testini gerçekleştirebilmek için özel olarak bir sistem tasarlanıp imal edilmiştir. Charpy (ISO 179) ve izod (ISO 180) standart darbe test metodlarında numuneler yan yüzeylerinden darbe almaktadır. Bu çalışmada standart test metodlarından farklı olarak numuneler dik çekme eksenini boyunca darbeye maruz bırakılmıştır. Yatay yönde hareket eden düşük sürtünmeli bir araba ile buna karşılık gelen durdurucular yerleştirilmiştir. Numune mekanik bağlantı ile bir ucundan arabaya sabitlenmiştir (Şekil 4). Numunenin diğer ucuna ise eksenine dik olacak şekilde alüminyumdan imal edilmiş bir çubuk mekanik olarak sabitlenmiştir. Araba yatay ekseninde hareket ederken bu çubuğun desteklere çarpması ile darbe işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle izod ve charpy test



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536

sistemlerinden farklı olarak numuneye uzunlamasına darbe uygulanmıştır. Darbe enerjisi arabaya halat ile bağlanan ağırlık ile sağlanmıştır. Farklı enerji değerlerini oluşturabilmek için halat ucuna farklı kütlelerde ağırlıklar asılmış ve bu kütleler düşey ekseninde 2 m yükseklikten serbest bırakılarak numunenin bağlı olduğu arabanın hareketi sağlanmış ve numune durduruculara çarptırılarak halattaki

enerji numuneye aktarılmıştır. Testler sırasında hiçbir numunede hasar gözlemlenmemiştir. Darbe uygulanan numunelerdeki mekanik özelliklerindeki değişimin gözlemlenebilmesi için darbe uygulanmayan numuneler de üç nokta eğme testine tabi tutulmuştur.



Şekil 4. Darbe test düzeneğinin (a) şematik gösterimi ve (b) kısmi fotoğrafı

Darbe testleri tamamlandıktan sonra tüm numuneler 30 kN yük hücreğine sahip Testmetric (Rochdale, İngiltere) üniversal mekanik test cihazında üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Üç nokta eğme deneylerinde ASTM D790 test standardı göz önüne alınmıştır. Numune boyutları dikkate alınarak alt iki destek açıklığı 60 mm olarak ayarlanmış olup, test sırasında üst çeneye 1 mm/dak hızında aşağı yönde ilerleme hareketi tanımlanmıştır. Numunelerde hasar oluşana kadar üst çene hareketi devam ettirilmiştir. Böylelikle maksimum kuvvet ve yer değiştirme değerleri tüm numuneler için elde edilmiştir. Üç nokta eğme deneyine ilişkin test görseli Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Üç nokta eğme deneyi

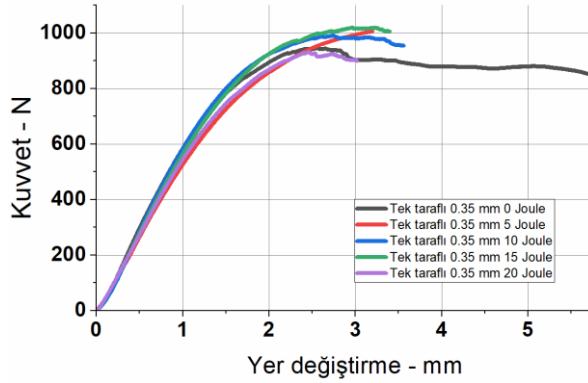
## BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç nokta eğme deneyi uygulanan numunelerin bazılarında kırılma ve çatlamaya bağlı hasar gözlemlenirken, bazılarında delaminasyon, bazılarında ise hasarın meydana gelmeme durumu (esneme) gözlemlenmiştir.

Elde edilen neticelere göre, tek yüzeyine 0.35 mm çentik açılmış numunelerde 20 J darbe uygulanmış ve darbe uygulanmamış örneklerde kırılma gözlenmemiştir. Orta noktada en yüksek gerilme 5 J darbe uygulanmış numunede, 251.60 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Dış yüzeyde maksimum şekil değiştirme miktarı 5.23 cm olarak 10 J darbe enerjisine maruz kalmış numunede gözlenmiştir.

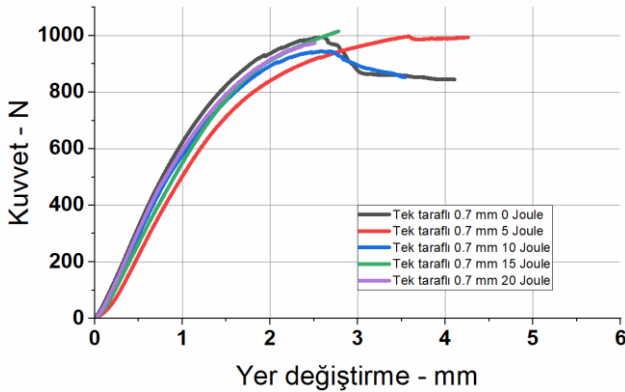


Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1173536



**Şekil 6.** Tek yüzeye 0.35 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

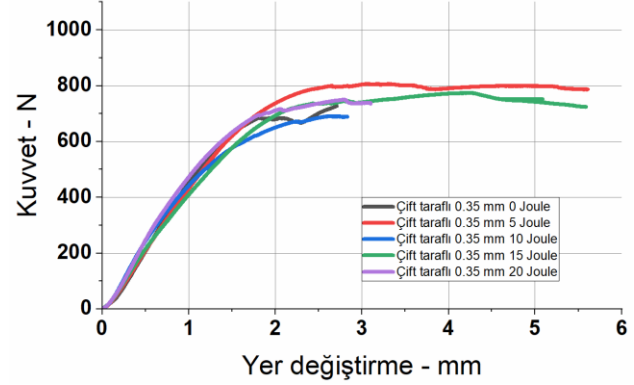
Tek yüzeyinden 0.70 mm derinlikte çentik eklenmiş numunelerde, sadece 10 J darbe enerjisi uygulanan numunede herhangi bir kırılma görülmemiştir. Kırılma görülen diğer dört numune arasında orta noktada oluşan maksimum gerilme, 15 J çarpma enerjisine maruz kalan numunede 253.80 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Dış yüzeydeki maksimum şekil değiştirme ise 10 J çarpma enerjisine maruz kalan numunede olduğu görülmüş ve bu numunenin maksimum şekil değiştirmesi 6.26 cm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 7.** Tek yüzeye 0.7 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

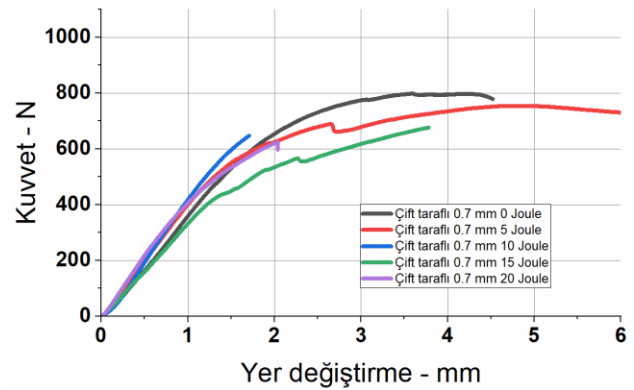
Her iki yüzeyinden 0.35 mm derinlikte çentik eklenmiş numunelerde, 5 J ve 15 J darbe enerjisi uygulanan numunelerde herhangi bir kırılma görülmemiştir. Kırılma görülen diğer üç numune arasında orta noktada oluşan maksimum gerilme, 20 J darbe enerjisine maruz kalan numunede 184.60 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Dış yüzeydeki maksimum şekil değiştirmenin ise yine 20 J çarpma enerjisine maruz kalan numunede olduğu görülmüş

ve bu numunenin maksimum şekil değiştirmesi 4.55 cm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 8.** Çift yüzeye 0.35 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

Her iki yüzeyinden 0.70 mm derinlikte çentik eklenmiş numunelerde, sadece 5 J darbe enerjisi uygulanan numunede kırılma görülmemiştir. Kırılma görülen diğer dört numune arasında orta noktada oluşan maksimum gerilme, darbe testi uygulanmamış numunede olduğu görülmüştür. Bu numunenin orta noktasında oluşan maksimum gerilmesi 194.55 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde dış yüzeydeki maksimum şekil değiştirme darbe testi uygulanmayan numunede 6.64 cm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 9.** Çift yüzeye 0.7 mm derinlikte kanal açılan numunelerin Kuvvet – Yer Değiştirme grafiği

Üç nokta eğme deneyinden elde edilen bütün sonuçlar irdelendiğinde, tek taraftan çentik açılan numunelere 15 J darbe enerjisinin uygulanması durumunda çentik kalınlığı fark etmeksizin maksimum hasar kuvvetinin meydana geldiği görülmektedir. Çift taraftan çentik açılan

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1173536

numunelerde; 0.35 mm çentik kalınlığına sahip numunelere uygulanan 5 J darbe enerjisinde maksimum hasar kuvveti oluşmaktayken, çentik kalınlığı 0.7 mm'ye çıkarıldığında darbe enerjisi uygulanmayan numunelerde meydana gelen hasar maksimum seviyededir.

Tek taraflı ve çift taraflı çentik açılmış numuneler ayrı ayrı incelendiğinde çentik derinliğinin dayanım kuvvetine etkisi belirgin değildir. Yaklaşık olarak aynı maksimum dayanım kuvvetlerine sahiptir. Ancak, özellikle uzama ve hasar alma değerleri çentik derinliği fazla olan numunelerde daha düşük noktalarda gerçekleşmiştir. Örneğin çift taraflı çentik açılmış numunelerde kuvvet-yer değiştirme eğrisi 0.7 mm derinlik için daha düşüktür ve 0.35 mm derinlikli numunelere göre daha fazla test hasar olarak erken sonlanmıştır.

Atas araştırmasın darbe enerjisi arttıkça çekirdek ve kabuk arasındaki bağın kopması, elyaf bükülme kırıkları ile baskın hasar modları olduğunu belirtmiştir (Atas ve Sevim, 2010). Özellikle çift taraflı çentik açılmış test sonuçları incelendiğinde, darbe enerji artışının, hasar oluşum ihtimalini arttırdığı gözlemlenmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, sandviç kompozitlerin dış yüzeylerinde meydana gelen çentiklerin farklı darbeleri yüklemeler altındaki sergiledikleri mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Tek taraflı çentik açılmış numunelerde en uzun esneme darbe testi uygulanmamış örneklerde oluşurken, çift taraflı çentik açılan ve 5 J darbe uygulanmış numunelerde en fazla esneme görülmüştür. Diğer tüm enerji değerlerinde hasar meydana gelmiştir. Darbe enerji değerinin artması hasar oluşumuna bağlı olarak dayanım azalmalarına neden olmuştur. Tüm çentik türleri için kompozit levhalara uygulanan darbe testlerinde benzer sonuçlar başka bir çalışmada da elde edilmiştir (Çelik ve Turan, 2015).

Tek çentikli numunelerde ulaşılan en yüksek eğme kuvveti ortalama 950 N iken, bu değer çift çentikli durum için yaklaşık 750 N olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, çentik yüzeyinin artmasının bir fonksiyonu olarak numuneleri daha da zayıflatmıştır. Çentik etkisi, diğer referanslarda da belirtildiği gibi bu numuneler için de mekanik

dayanımı azaltıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çift taraflı çentik açılan darbe vurulmuş numunelerin çökme değerleri diğerlerine göre daha az olmasına karşın, darbe uygulanmamış numunede bu çökme miktarı en yüksek olmuştur. Uygulanan darbe kuvvetleri sandviç kompozitlerin mekanik dayanımlarını azaltmaktadır. Çentik derinliğinin maksimum çekme dayanımına etkisi belirsiz olarak gözlemlenmiştir. Saylık, kenarlarına tek ve çift taraflı V-çentik açılmış alüminyum ve kompozit levhaların burkulma yükleri altındaki davranışını sayısal olarak incelenmiştir (Saylık ve Kaman, 2019). Tamir edilmiş levhalarda yapıştırıcı kalınlığının burkulma yükü üzerine önemli bir etkisi olduğu gözlemlenirken, çentik derinliği etkisinin işlem sonrası yok olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çentik hasarlarının darbe altındaki kompozit malzemelere etkisinin, burkulmaya göre daha yüksek olduğu söylenebilmektedir.

Çentik açma işleminde gerilim yoğunluğunun daha az oluşması için küresel kesici kullanılmıştır. Çentik geometrisinin hasar yükleri üzerinde önemli olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Dindar ve Ağır, 2021). Farklı kesici uç formları ile yapılacak bir çalışmanın yararlı olacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Doğuş Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi tarafından 2021-22-D1-B02 numaralı proje kapsamında desteklenmektedir.

## 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

- Atas, C. ve Sevim, C. (2010). On the impact response of sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam. *Composite Structures*, 93(1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.06.018>
- Berk, B., Karakuzu, R., Murat İcten, B., Arikan, V., Arman, Y., Atas, C. ve Goren, A. (2016). An experimental and numerical investigation on low velocity impact behavior of composite plates. *Journal of Composite Materials*, 50(25), 3551–3559.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1173536

- <https://doi.org/10.1177/0021998315622805>  
 Castanie, B., Bouvet, C. ve Ginot, M. (2020). Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Composites Part C: Open Access*, 1(July).  
<https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>  
 Çelik, A. ve Turan, K. (2015). Çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının incelenmesi. *Mühendislik Dergisi*, 00(Tip 4), 73–82.  
 Chen, Y., Zeng, X., Deng, Y. ve Wei, G. (2022). Investigation on manufacturing and low-velocity impact performance of all-composite sandwich structure with S-type foldcore. *Composite Structures*, 290(October 2021), 115539.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115539>  
 Dindar, B. ve Ağır, İ. (2021). Karbon/epoksi ve E-cam/epoksi ile Onarılmış Çentikli Alüminyum 5754-H111 Charpy Darbe Tepkisi. *European Journal of Science and Technology*, 22, 352–356.  
<https://doi.org/10.31590/ejosat.844824>  
 Etli, S. (2021). Analytical Evaluation of Behavior of Composite Columns Under Axial Load. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3), 526–536.  
<https://doi.org/10.29132/ijpas.991166>  
 Güven, Z. K. (2021). Darbe hasarlı filaman sargılı kompozit yapı elemanlarının basma kuvveti altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve hasar analizi. NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ.  
 Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of Composite Materials*. In Taylor and Francis Group (2nd ed.). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05224-9>  
 Lagunegrand, L., Lorriot, T., Harry, R. ve Wargnier, H. (2005). Design of an improved four point bending test on a sandwich beam for free edge delamination studies. *Composites Part B: Engineering*, 37(2–3), 127–136.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2005.07.002>  
 Metin, M. (2008). E-cam/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe hasarının burkulma özellikleri ne etkisi. Selçuk Üniversitesi.  
 Önal, T. ve Temiz, Ş. (2020). Balsa Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2021(1), 333–345.  
<https://doi.org/10.31202/ecjse.797049>  
 Özen, M. ve Ürkmez Taşkın, N. (2021). Alüminyum kompozit köpük malzemelerde takviye oranına bağlı olarak darbe davranışının incelenmesi. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 22(2), 87–95.  
 Pipes, R. B. ve Pagano, N. J. (1970). Interlaminar Stresses in Composite Laminates Under Uniform Axial Extension. *Journal of Composite Materials*, 4(4), 538–548.  
<https://doi.org/10.1177/002199837000400409>  
 Pıhtılı, G. ve Tanyol, M. (2022). Cevap Yüzey Metodolojisi Kullanılarak P(NIPAM-co-AN)/Kil Kompozit Üzerine İndigo Karmin Adsorpsiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(1), 71–80.  
<https://doi.org/10.29132/ijpas.1007938>  
 Potoglu U. (2012). Sandviç Kompozit Plakların Darbe Davranışları. Dokuz Eylül Üniversitesi.  
 Saylık, A. ve Kaman, M. O. (2019). Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş V-Çentikli Levhaların Burkulma Davranışı: Üç Boyutlu Sayısal Yaklaşım. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 561–570.

## Fındık Küspesi ve Zeolitin Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Diyetlerinde Kullanım Düzeylerinin Araştırılması






Emine Özpolat<sup>1\*</sup>, Gürel Nedim Örneki<sup>2</sup>, Gülizar Tuna Keleştemur<sup>3</sup>, Durali Danabaş<sup>4</sup>, Ali Atilla Uslu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Elazığ, Türkiye

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

<sup>3</sup>Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Bahçılık Teknolojisi Bölümü, Elazığ, Türkiye

<sup>4</sup>Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Tunceli, Türkiye

\*emineozpolat@firat.edu.tr , gurelorneki@gmail.com , gkelestemur@firat.edu.tr ,  
ddanabas@munzur.edu.tr , aliatillauslu@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:03.11.2022, Makale kabul tarihi:11.01.2023

### Öz

Çalışmada; ortalama 70 gr ağırlığındaki gökkuşığı alabalıklarının beslenmesinde balık unu yerine fındık küspesi ve zeolitin kullanım oranları araştırılmıştır. Bu amaçla 9 farklı rasyon içeriği ile 90 gün boyunca beslenme yapılmış ve canlı ağırlık artışları, büyüme performansları, sindirim düzeyleri ve balık etinin besin değerleri incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde fındık küspesinin %45 ve zeolitin %3 olarak kullanıldığı rasyon grubunun diğer gruplara göre daha etkin değerlendirildiği ve araştırma sonu HSI, RSI ve VSI oranları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Alabalık, balık unu, fındık küspesi, *Oncorhynchus mykiss*, protein, zeolit

## Investigation of Use Levels of Hazelnut Oil Cake and Zeolite in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Diets

### Abstract

In the study; the use of hazelnut oil cake and zeolite instead of fish meal in the feeding of rainbow trout with an average weight of 70 grams was investigated. For this purpose, 9 different ration contents were fed for 90 days and live weight gains, growth performances, digestion levels and nutritional values of fish meat were examined ( $p<0.05$ ). When the results were evaluated, it was determined that the ration group in which 45% hazelnut oil cake and 3% zeolite were used was evaluated more effectively than the other groups ( $p<0.05$ ) and the difference between HSI, RSI and VSI measurements at the end of the study was found to be statistically significant ( $p<0.05$ ).

**Keywords:** Trout, fish flour, hazelnut pulp, *Oncorhynchus mykiss*, protein, zeolite

### GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusuna karşın gıda kaynaklarının sınırlı olması, besin ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik su ürünleri yetiştiriciliğine olan ilgiyi giderek arttırmaktadır. Balık yetiştiriciliğinde yem ihtiyacı ve yem ihtiyacının karşılanmasında ise balık ununa olan talebin karşılanması giderek zorlaştığı için alternatif kaynakların araştırılması oldukça önemlidir. Bu sebeple beslenme ve rasyon çalışmalarında özellikle bitkisel protein kaynaklarının araştırılması ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmalarda ulaşılmak istenen temel

hedef, bir veya birden fazla bitkisel protein kaynağı karışımının, balık ununun %50'sinden fazlası yerine kullanımını sağlayabilmektir (Boonyaratpalin ve ark., 1998; Bilgüven, 2002). Fındık küspesinin ülkemizde temin sıkıntı olmaması, bol miktarda bulunması ve içerik açısından da kaliteli olması gibi nedenlerle alternatif bir kaynak olarak değerlendirilebilmektedir (Doğan ve Bircan, 2010; Su ve ark., 2011; Yeşilayer ve ark., 2013). Fındık küspesinin protein değerinin yüksek (ham protein %40), selüloz oranının düşük (%9) olması ayrıca balık türleri için uygun amino asit içeriğine sahip

olması (arjinin, lösin, izölösün, aspartik asit, serin, valin, alanin) gibi özellikleri ile yem sektöründe belirli oranlarda kullanılmaktadır (Erener, 1991; Özer, 2002). Son yıllarda pek çok kullanım alanının bulunması ile dikkat çeken bir mineral olan zeolitin de yem katkı maddesi olarak kullanılması oldukça önemlidir. Nitekim ülkemizde bol bulunan zeolit çeşitlerinin yakın geçmişte bitkisel ve hayvansal üretimde verimliliği arttırmak için farklı aşamalarda kullanıldığı ve faydalı oldukları bildirilmektedir. Bu faydaların bazıları; sularda kirlilik kontrolü, azotlu bileşiklerin ortamdaki uzaklaştırılması, su ortamında oksijen konsantrasyonunun artırılması, yem katkı maddesi olarak kullanılmaları ile yemlerin sindirilebilirliklerinin artırılmasıdır (Aybal, 2001; Bozkurt ve ark., 2001; Kaygısız ve Çörekci, 2003; Çelebi ve ark., 2004; Töre, 2006; Kanyılmaz, 2008).

Çalışmamız da; ortalama 70 gr ağırlığındaki alabalıkların beslenmesinde, alternatif bir yem kaynağı olarak düşünülen fındık küspesi ve zeolitin çeşitli oranlarda rasyonlara ilavesinin balığın büyüme performansına, et kalitesine ve sindirim düzeylerine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Elazığ ili, Keban Su Ürünleri Şube Müdürlüğü ve özel bir işletmeden temin edilen toplam 675 adet (ortalama 70±0,04 gr) alabalık ile çalışma, Haziran-Eylül 2018 tarihleri arasında Elazığ, DSİ 9. Bölge Müdürlüğü, Keban Su Ürünleri Şube Müdürlüğü tesisinde yürütülmüştür. Araştırmada, 400 x 80 x 80 cm ebatlarında toplam 27 adet tanka 25 adet alabalık stoklanmış ve 3 mm büyüklüğünde hazırlanan 9 farklı rasyon ile 09:00 ve 16:30 saatlerinde günde iki kez görülebilir doygunluk sınırına kadar yemleme yapılarak 90 günlük araştırma tamamlanmıştır. Çalışma süresince tanklar belirli periyotlarda sifonlanarak temizlenmiştir. Hazırlanan rasyon gruplarına ait açıklamalar Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan yem rasyonlarının içeriği Tablo 2’de verilmiş ve rasyondaki temel besin madde içerikleri Sarı ve Çakmak (1996)’ın bildirdiği düzeylere göre hazırlanmıştır. Araştırma rasyonlarında kullanılan materyaller İzmir Nektar Yem Fabrikasından temin edilmiş ve rasyonlar bu tesiste hazırlanmıştır.

Fındık küspesi besin madde içeriği; rutubet, % 12, ham protein % 20, ham yağ %1,5, ham selüloz %7, kuru madde %92, azotsuz öz madde ise %92’dir.

Büyüme hesaplamalarının yapılmasında; kullanılan parametreler ve referans alınan kaynak Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 1. Çalışmada oluşturulan deneme grupları**

DENEME GRUPLARI	
<b>K</b>	Kontrol grubu
<b>1. Grup</b>	%3 zeolit içeren yem grubu
<b>2. Grup</b>	%6 zeolit içeren yem grubu
<b>3. Grup</b>	Fındık küspesinin %25 katıldığı grup
<b>4. Grup</b>	Fındık küspesinin %25 ve zeolitin %3 katıldığı grup
<b>5. Grup</b>	Fındık küspesinin %25 ve zeolitin %6 katıldığı grup
<b>6. Grup</b>	Fındık küspesinin %45 katıldığı grup
<b>7. Grup</b>	Fındık küspesinin %45 ve zeolitin %3 katıldığı grup
<b>8. Grup</b>	Fındık küspesinin %45 ve zeolitin %6 katıldığı grup



**Tablo 2.** Deneme yemlerinin formülasyonları (%)

HAM MADDELER	GRUPLAR								
	Kontrol Grubu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Balık Unu	55	56	57	40	41	42	28	29	30
Fındık Küspesi	-	-	-	25	25	25	45	45	45
Buğday Unu	31,9	27,9	23,9	21,9	17,9	13,9	13,9	9,9	5,9
Zeolit	-	3	6	-	3	6	-	3	6
Krom oksit	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Balık Yağı	9	9	9	9	9	9	9	9	9
a	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
b	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C Vitamini	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100	100

a) Butilen Hydroxytoluene (BHT); 125.000 mg/kg

b) Vitamin Karması (mg/kg); Vitamin Karması (IU veya mg/kg yem): Vitamin A 12.000.000 IU, vitamin D3 120 IU, vitamin E 30.000 IU, vitamin K3 0,9 mg, vitamin B1 1,2 mg, vitamin B2 1,5 mg, vitamin B6 1,2 mg, vitamin B12 0,003 mg, niacin 12 mg, cal-D-pant. 2,4 mg, folik asit 1000 IU, D biotin 0,03 mg, inositol 15 mg, vitamin C 15 mg, antioksidant 0,75 mg, choline chloride 72 mg

c) Mineral Karması (mg/kg); Mn 80.000, Fe 35.000, Zn 50.000, Cu 5.000, I 2.000, Co 400, Se 150

**Tablo 3.** Araştırmada yapılan analizler ve ilgili referansları

Analizler	İlgili Referanslar
Canlı ağırlık artışları	Çetinkaya (1995)
Total boy değerleri	Mattson ve Ripley (1989)
Spesifik büyüme ile yem dönüşüm oranları	Halver (1989)
Oransal büyümeleri ve kondisyon faktörleri	Halver, 1972 ve Halver, 1989.
Protein etkinlik oranları, Hepatosomatik indeks değerleri (HSI), Renosomatik indeks değeri (RSI), visserosomatik indeks değeri (VSI)	Çetinkaya, 1995 ve Hoşsu ve ark., 2005.
Besin maddelerinin sindirilebilirliği	Windell, 1978 ve NRC, 1993.
Besin kompozisyonlarının belirlenmesi	Protein; AOAC, 2002, yağ; TSE, 1974a ham kül; TSE, 1974b ve rutubet; Göğüş ve Kolsarıcı, 1992.
Dışkı örneklerinin toplanması	Cho ve ark., 1979.
Yemdeki ve dışkıdaki krom oksit değeri hesaplamaları	Furukawa ve Tsukahara, 1966.
Sindirilebilirlik oranları	NRC, 1993; Steffens, 1989.

**Tablo 4.** Araştırmada kullanılan suya ait fiziksel ve kimyasal parametreler

Fiziksel Ölçümler	Su Sıcaklığı (°C)	Çöz. Oksijen Miktarı (mg/L)	Çöz. Oksijen Doygunluğu (%)	pH	İletkenlik (µS/cm)
1. Ölçüm	9,4	9,4	88,2	8,5	346,5
2. Ölçüm	9,6	9,7	90	8,4	336
3. Ölçüm	10	9,7	90,5	8,45	351
4. Ölçüm	10,5	9,8	93,5	8,6	344
5. Ölçüm	10	9,5	92	8,5	340,5
6. Ölçüm	10,5	9,7	93	8,4	345

Balıkların bulunduğu teknelere gelen suyun özellikleri Tablo 4’ de verilmiştir. Bu değerler çalışma süresince sabah, öğle ve akşam oksijen metre (portatif YSI 55 Model 51/12) ile ölçülerek belirlenmiştir. Çalışma sonucunda toplanan tüm verilerin istatistiksel değerlendirmeleri, SPSS 11.00 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Varyans homojenlik testleri uygulandıktan sonra varyans analizi (ANOVA) yapılarak, grup ortalamaları arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir.

## BULGULAR

Araştırma gruplarına ait yavru balıkların rasyonlarına ait ham protein, ham yağ, ham kül, kuru madde ve nem değerleri belirlenmiş ve değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ , Tablo 5).

Alabalıkların canlı ağırlık, total boy oranları, kondisyon faktör, oransal büyüme ve spesifik büyüme değerleri ile yem değerlendirme oranları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve Tablo 6’da verilmiştir.

Araştırma grupları arasında balıkların boyca büyüme ve kondüsyon faktör değerleri arasında istatistiksel fark olmadığı ( $p>0,05$ ), 7. grubun canlı ağırlık artışı, oransal büyüme, spesifik büyüme değerleri diğer gruplara göre istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlendi ( $p<0,05$ ). Diğer gruplara göre en iyi yem değerlendirme 7. gruptan elde edilirken diğer gruplardan istatistiksel olarak önemli oranda farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Araştırmada kullanılan genç alabalıklara ait başlangıç ve deneme sonundaki HSI, RSI ve VSI sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Deneme yemlerinin kimyasal kompozisyonları (%)

Gruplar	Parametreler				
	Kuru Madde	Nem	Kül	Yağ	Protein
<b>Kontrol</b>	93,11± 1,06 <sup>a</sup>	6,88 ± 0,68 <sup>a</sup>	8,570 ± 0,69 <sup>a</sup>	13,50 ± 0,6 <sup>a</sup>	41,36 ± 1,1 <sup>a</sup>
<b>1. Grup</b>	92,22± 1,06 <sup>a</sup>	6,88 ± 0,68 <sup>a</sup>	8,570 ± 0,69 <sup>a</sup>	13,50 ± 0,6 <sup>a</sup>	41,36 ± 1,1 <sup>a</sup>
<b>2. Grup</b>	92,33 ± 1,06 <sup>a</sup>	6,88 ± 0,68 <sup>a</sup>	8,570 ± 0,69 <sup>a</sup>	13,50 ± 0,6 <sup>a</sup>	41,36 ± 1,1 <sup>a</sup>
<b>3. Grup</b>	90,62 ± 0,93 <sup>a</sup>	9,37 ± 0,94 <sup>a</sup>	8,880 ± 1,03 <sup>a</sup>	13,29 ± 0,8 <sup>a</sup>	41,64 ± 0,9 <sup>a</sup>
<b>4. Grup</b>	91,79± 0,82 <sup>a</sup>	8,21 ± 0,36 <sup>a</sup>	12,060 ± 0,61 <sup>a</sup>	13,80 ± 0,9 <sup>a</sup>	40,94 ± 1,4 <sup>a</sup>
<b>5. Grup</b>	88,36± 1,46 <sup>a</sup>	11,63 ± 0,75 <sup>a</sup>	12,640 ± 1,54 <sup>a</sup>	13,51 ± 1,0 <sup>a</sup>	40,64 ± 1,6 <sup>a</sup>
<b>6. Grup</b>	88,25 ± 1,07 <sup>a</sup>	11,74± 0,12 <sup>a</sup>	9,120 ± 0,48 <sup>a</sup>	13,41 ± 0,5 <sup>a</sup>	40,29 ± 1,0 <sup>a</sup>
<b>7. Grup</b>	88,63± 1,13 <sup>a</sup>	11,36± 0,38 <sup>a</sup>	10,714 ± 1,25 <sup>a</sup>	13,56 ± 0,6 <sup>a</sup>	41,06 ± 0,5 <sup>a</sup>
<b>8. Grup</b>	85,78± 1,04 <sup>a</sup>	14,22 ± 1,03 <sup>a</sup>	12,179 ± 1,09 <sup>a</sup>	13,71 ± 0,8 <sup>a</sup>	41,21 ± 1,1 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tablo sütunlarında aynı harflerle gösterilen rakamlar istatistiksel olarak benzer bulunmuştur Anova (p>0,05).

**Tablo 6.** Balıkların canlı ağırlık, total boy, kondisyon faktör ve oransal büyüme değerleri

Gruplar	Büyüme Parametreleri					
	Canlı Ağırlık Artışı (g)	Total Boy(cm)	Kondisyon Faktörü	Oransal Büyüme (%)	SBO (%)	YDO (%)
<b>Kontrol</b>	10,16 ± 0,32 <sup>b</sup>	1,04 ± 0,66 <sup>a</sup>	1,173 ± 0,02 <sup>a</sup>	87,14 ± 0,81 <sup>c</sup>	1,81±0,05 <sup>b</sup>	1,40±0,12 <sup>b</sup>
<b>1. Grup</b>	9,75 ± 0,41 <sup>ab</sup>	1,00 ± 0,15 <sup>a</sup>	1,190 ± 0,05 <sup>a</sup>	83,57 ± 0,69 <sup>b</sup>	1,75±0,03 <sup>b</sup>	1,45±0,09 <sup>b</sup>
<b>2. Grup</b>	9,58 ± 0,51 <sup>ab</sup>	0,99 ± 0,66 <sup>a</sup>	1,189 ± 0,04 <sup>a</sup>	82,14 ± 0,77 <sup>b</sup>	1,73±0,02 <sup>b</sup>	1,50±0,11 <sup>b</sup>
<b>3. Grup</b>	10,33 ± 0,64 <sup>b</sup>	1,06 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,153 ± 0,03 <sup>a</sup>	87,00 ± 0,58 <sup>c</sup>	1,81±0,04 <sup>b</sup>	1,44±0,13 <sup>b</sup>
<b>4. Grup</b>	10,05 ± 0,29 <sup>b</sup>	1,05 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,155 ± 0,01 <sup>a</sup>	86,28 ± 0,92 <sup>c</sup>	1,80±0,03 <sup>b</sup>	1,42±0,08 <sup>b</sup>
<b>5. Grup</b>	9,73 ± 0,62 <sup>ab</sup>	1,01 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,174 ± 0,05 <sup>a</sup>	83,57 ± 0,84 <sup>b</sup>	1,75±0,02 <sup>b</sup>	1,43±0,12 <sup>b</sup>
<b>6. Grup</b>	8,03 ± 0,33 <sup>a</sup>	0,93 ± 0,12 <sup>a</sup>	1,160 ± 0,04 <sup>a</sup>	69,00 ± 1,01 <sup>a</sup>	1,51±0,04 <sup>c</sup>	1,66±0,14 <sup>c</sup>
<b>7. Grup</b>	12,26 ± 0,62 <sup>c</sup>	1,07 ± 0,12 <sup>a</sup>	1,252 ± 0,03 <sup>a</sup>	105,14 ± 1,87 <sup>d</sup>	2,08±0,06 <sup>a</sup>	1,20±0,11 <sup>a</sup>
<b>8. Grup</b>	10,00 ± 0,50 <sup>b</sup>	1,02 ± 0,13 <sup>a</sup>	1,187 ± 0,04 <sup>a</sup>	86,42 ± 1,20 <sup>c</sup>	1,80±0,04 <sup>b</sup>	1,37±0,07 <sup>ab</sup>

<sup>a-c</sup> Aynı sütünde farklı harflerle gösterilen rakamlar istatistiksel olarak birbirinden farklı (Anova, p<0,05), aynı harfle gösterilen sütunlar benzer bulunmuştur (p>0,05).

**Tablo 7.** Balıkların HSI, RSI ve VSI değerleri

GRUPLAR	HSI (%)		RSI (%)		VSI (%)	
	Deneme Başlangıcı	Deneme Sonu	Deneme Başlangıcı	Deneme Sonu	Deneme Başlangıcı	Deneme Sonu
Kontrol		1,00 ± 0,03 <sup>a</sup>		0,48 ± 0,02 <sup>a</sup>		10,80 ± 0,05 <sup>a</sup>
1. Grup		1,25 ± 0,02 <sup>ab</sup>		0,96 ± 0,3 <sup>b</sup>		13,75 ± 0,06 <sup>b</sup>
2. Grup		1,33 ± 0,06 <sup>b</sup>		0,98 ± 0,05 <sup>b</sup>		14,55 ± 0,07 <sup>b</sup>
3. Grup		1,90 ± 0,05 <sup>c</sup>		1,12 ± 0,05 <sup>c</sup>		19,32 ± 0,03 <sup>d</sup>
4. Grup	0,95 ± 0,35	1,55 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,40 ± 0,38	1,02 ± 0,04 <sup>bc</sup>	10,1 ± 0,67	16,24 ± 0,02 <sup>c</sup>
5. Grup		1,88 ± 0,01 <sup>c</sup>		0,86 ± 0,05 <sup>b</sup>		15,82 ± 0,01 <sup>bc</sup>
6. Grup		1,73 ± 0,03 <sup>b</sup>		0,80 ± 0,09 <sup>b</sup>		16,21 ± 0,05 <sup>c</sup>
7. Grup		1,50 ± 0,05 <sup>b</sup>		0,75 ± 0,02 <sup>b</sup>		13,76 ± 0,06 <sup>b</sup>
8. Grup		1,15 ± 0,08 <sup>a</sup>		0,80 ± 0,06 <sup>b</sup>		11,95 ± 0,01 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Aynı sütünde farklı harflerle gösterilen rakamlar istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur (Anova, p<0,05).

Alabalıklara ait araştırma sonu HSI, RSI ve VSI oranları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (p<0,05). En düşük HSI değeri, kontrol ve 8. gruptan, en yüksek HSI değeri ise 3. ve 5. gruplardan elde edildi. En yüksek RSI ve VSI değeri, 3. gruptan elde edildi. Alabalıkların çalışma sonundaki balık eti analiz sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Araştırma gruplarına ait kas nem, kuru madde, ham protein, ham yağ ve ham kül oranlarının

istatistiksel olarak birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir (p>0,05).

Sindirilme oranlarına ait veriler incelendiğinde (Tablo 9); oranları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (p>0,05). Denemede kullanılan rasyonlardaki total, protein ve yağların sindirilme oranları, gruplar arasında birbirlerine yakın değer aralığında yer almıştır.

**Tablo 8.** Çalışma sonunda elde edilen balık kaslarına ait kimyasal kompozisyon sonuçları

GRUPLAR	BESİN MADDE İÇERİKLERİ				
	Kuru Madde	Nem	Kül	Yağ	Protein
Kontrol	24,08 ± 4,2 <sup>a</sup>	75,2 ± 4,2 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,25 ± 1,0 <sup>a</sup>	18,32 ± 0,5 <sup>a</sup>
1. Grup	24,08 ± 3,4 <sup>a</sup>	75,2 ± 6,2 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,21 ± 1,0 <sup>a</sup>	18,42 ± 1,2 <sup>a</sup>
2. Grup	24,08 ± 1,2 <sup>a</sup>	75,1 ± 8,1 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,15 ± 0,9 <sup>a</sup>	18,22 ± 0,4 <sup>a</sup>
3. Grup	24,07 ± 0,2 <sup>a</sup>	75,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,36 ± 0,6 <sup>a</sup>	18,26 ± 0,5 <sup>a</sup>
4. Grup	23,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	76,3 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,12 ± 0,9 <sup>a</sup>	18,21 ± 0,4 <sup>a</sup>
5. Grup	23,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	75,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,0 <sup>a</sup>	8,02 ± 1,0 <sup>a</sup>	18,05 ± 0,2 <sup>a</sup>
6. Grup	23,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	75,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,3 <sup>a</sup>	7,49 ± 0,4 <sup>a</sup>	18,25 ± 0,5 <sup>a</sup>
7. Grup	24,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	75,9 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,59 ± 1,1 <sup>a</sup>	18,16 ± 0,6 <sup>a</sup>
8. Grup	22,9 ± 0,21 <sup>a</sup>	75,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,5 <sup>a</sup>	6,95 ± 0,7 <sup>a</sup>	18,49 ± 0,7 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tablo sütunlarında aynı harflerle gösterilen rakamlar istatistiksel olarak benzer bulunmuştur Anova (p>0,05).

**Tablo 9.** Farklı oranlarda fındık küspesi ve zeolit ile beslenen alabalıklarda protein, yağ ve total sindirileme oranları (%)

GRUPLAR	SİNDİRİLEBİLİRLİK (%)		
	Total	Ham Protein	Ham Yağ
<b>Kontrol</b>	79,0 ± 1,08 <sup>a</sup>	92,35 ± 0,75 <sup>a</sup>	98,37 ± 1,04 <sup>a</sup>
<b>1. Grup</b>	77,5 ± 0,98 <sup>a</sup>	92,30 ± 1,15 <sup>a</sup>	97,87 ± 1,10 <sup>a</sup>
<b>2. Grup</b>	77,0 ± 0,80 <sup>a</sup>	92,32 ± 1,05 <sup>a</sup>	98,11 ± 1,02 <sup>a</sup>
<b>3. Grup</b>	74,5 ± 0,93 <sup>a</sup>	92,45 ± 0,98 <sup>a</sup>	97,79 ± 0,98 <sup>a</sup>
<b>4. Grup</b>	75,5 ± 0,82 <sup>a</sup>	91,29 ± 0,80 <sup>a</sup>	98,19 ± 0,85 <sup>a</sup>
<b>5. Grup</b>	76,5 ± 1,40 <sup>a</sup>	94,53 ± 1,14 <sup>a</sup>	98,47 ± 0,92 <sup>a</sup>
<b>6. Grup</b>	73,5 ± 1,07 <sup>a</sup>	94,75 ± 1,20 <sup>a</sup>	99,17 ± 0,65 <sup>a</sup>
<b>7. Grup</b>	76,5 ± 0,75 <sup>a</sup>	93,88 ± 1,15 <sup>a</sup>	98,63 ± 1,20 <sup>a</sup>
<b>8. Grup</b>	77,5 ± 1,04 <sup>a</sup>	95,34 ± 1,12 <sup>a</sup>	98,45 ± 1,10 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tablo sütunlarında aynı harflerle gösterilen rakamlar istatistiksel olarak benzer bulunmuştur Anova (p>0,05).

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Ticari balık yetiştiriciliğinde, tüm işletme masrafları içerisinde yem giderleri %60-70 oranla en önemli bölümü oluşturmaktadır. Balık yetiştiriciliğini ekonomik şekilde yapabilmek için, yem maliyetinin azaltılması, balıkların besin madde ihtiyaçlarını tam olarak içeren ve balık tarafından kolay sindirilebilen dengeli rasyonların hazırlanması gerekmektedir. Balık yemlerinin hazırlanmasında, başlıca protein kaynağı olarak yüksek besin değeri ve lezzete sahip olan balık unu tercih edilmektedir. Bununla beraber balık ununun fiyat dengesizliği ve elde edilmesindeki belirsizlik, bu konunun uzmanlarını ve yem imalatçıların, balık unu yerine kullanılabilir daha ucuz ve kolay elde edilebilen bitkisel protein kaynaklarını, balık rasyonlarında kullanımlarını zorunlu hale getirmiştir (Alçeste, 2000). Bu çalışmada, balık yeminde protein olarak balık ununun kullanıldığı kontrol grubu, farklı oranlarda fındık küspesi ve zeolit içeren 9 farklı yem rasyonu ile gökkuşuğu alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) büyüme performansı, balık etinin kimyasal kompozisyonu üzerine etkileri, canlı ağırlık artışı olarak büyüme, kondisyon faktörü, spesifik büyüme, yem değerlendirme oranı, hepatosomatik indeks, viserosomatik indeks, renosomatik indeks, sindirilebilirlik ve vücut kompozisyonu gibi parametreler değerlendirilerek incelenmiştir.

Edwards (1978) ve NRC (1993), gökkuşuğu alabalıkları gelişimlerini sağlayabilmesi için %40-50,

Refstie ve ark., (2000), %39-40 ham protein, Cheng ve Hardy (2002), %44 proteine sahip rasyonlarla çalışmalar yapmışlardır. Yaptığımız çalışmada, deneme gruplarının ham protein oranları %41 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, diğer çalışmaların rasyonlarında yer alan ham protein değerleriyle paralellik göstermektedir. Balık yemi rasyonlarında kullanılan ham yağ oranları ile ilgili olarak, Kerim (2011) yaptığı çalışmada rasyondaki ham yağ oranını %12-13 arasında belirlemiş, Belen (2009)'un yaptığı balık yemi rasyonunda ham yağ oranını %7 olarak belirlemiştir. Bu çalışmada yapılan yem rasyonunda ham yağ oranı %8-9 olarak belirlenmiş ve yapılan araştırma ile yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda balık etindeki ham protein, ham yağ ve ham kül değerleri ile ilgili olarak; Doğan (2005) farklı oranlarda fındık küspesi içeren izonitrojenik rasyonların gökkuşuğu alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) büyümesi, kimyasal yapısı ve sindirilebilme oranı üzerine yaptığı araştırmada, balık etinde %18,49 olan ham protein oranını deneme sonunda farklı gruplarda, %18,26, %17,78, %18,42 ve %17,39 olarak saptamış, yine aynı çalışmada deneme başında %4,89 olan ham yağ oranı, deneme sonunda %4,13-6,42, ve ham kül oranını deneme başında %1,4 olarak, deneme sonunda ise %1,41-2,17 olarak belirlemiştir. Yılmaz (2014) çalışmasında ham protein oranlarının %15,19-18,02, ham yağ oranlarının %5,56-6,71 ve ham kül oranının ise %2,55-2,80 olduğunu bildirmiştir. Çalışmada balık



eti besin madde kompozisyonunda; deneme başında %16,48 olan ham protein oranı deneme sonunda %18,05-18,49 arasındaki değerlerde olduğu görülmüştür. Ham yağ analiz sonuçlarında deneme başında %6,62 olan değerler çalışma sonunda %6,95 ile %12-8,02 arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir. Ham kül analiz sonuçları ise başlangıç da %1,19 iken deneme sonunda en düşük %1,11 ile en yüksek %1,29 belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, yapılan diğer çalışmalarla yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Deneme süreleri, su sıcaklığı ve rasyonların farklı olması gibi nedenler farklılıklara sebep olabilmektedir.

Araştırma da istatistiksel olarak en iyi canlı ağırlık artışı 7. grup olarak belirlenirken, en düşük canlı ağırlık artışının 6. grupta olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Demir (2004), yaptığı çalışmada ortalama canlı ağırlıkları  $140,4\pm 0,42$ g olan gökkuşuğu alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*) %0, %1, %2, %3, %4, %5 ve %6 oranında klinoptilolit içeren yemlerle 60 gün boyunca beslemiştir. 15 günlük periyotlarda deneme grubu balıklarının ortalama canlı ağırlık, boy, kondisyon faktörü ve yem dönüşüm oranlarını hesaplanmıştır. Başlangıç boy uzunlukları 23,5 cm olan gruplar çalışma sonunda kontrol grubu  $28,9\pm 0,3$  cm, 1. grup (%1)  $28,5\pm 0,2$  cm, 2. grup (%2)  $29,1\pm 0,2$  cm, 3. grup (%3)  $29,1\pm 0,2$  cm, 4. grup (%4)  $28,1\pm 0,3$  cm, 5. grup (%5)  $28,3\pm 0,2$  cm, 6. grup (%6)  $28,2\pm 0,2$  cm olarak belirlenmiştir. Yaptığımız deneme çalışmalarındaki sonuçlar, Demir (2004)'in tespit ettiği değerlerle benzerlik göstermektedir. Sanz ve ark. (1994), başlangıç ortalama ağırlıkları 40 g olan gökkuşuğu alabalıklarını, sadece balık unu (%59,33), balık unu - soya unu (%35,60-%31,60) ve balık unu- ayçiçeği unu (%35,60-%42,46) içeren rasyonlarla besledikleri deneme sonunda, 1., 2. ve 3. rasyonlarla beslenen gruplarda spesifik büyüme oranı sırasıyla 1,97, 2,09 ve 1,90 olarak tespit etmişlerdir. Danabaş (2009), grupların SBO ortalamaları, sırasıyla,  $1,544\pm 0,007$ ,  $1,785\pm 0,044$ ,  $1,647\pm 0,037$  ve  $1,567\pm 0,037$  olarak belirlenmiştir. Francesco ve ark., (2004), ortalama ağırlıkları 162 g olan gökkuşuğu alabalıklarında yapmış oldukları çalışmada bitkisel karma un (mısır gluteni, buğday gluteni, ekstrüde bezelye, kolza unu ve ekstrüde buğday unu) ile beslenen grupta spesifik büyüme oranını %0,90 olarak tespit etmişlerdir. Refstie ve ark. (2000)'nın, deneme başlangıç ağırlığı 99,2 g olan gökkuşuğu alabalıklarında yeme % 30 oranında soya unu ilavesinin etkisini araştırdıkları denemede spesifik büyüme oranı %1,07 olarak belirlemişlerdir.

Mourente ve Dick, (2002) levreklerle (90 g) yaptıkları çalışmada tamamen keten tohumu, kanola ve zeytin yağı içeren yemler ile beslenen bireylerin kontrol grubu bireyleri ile benzer spesifik büyüme gösterdiğini bildirmişlerdir.

Thiessen ve ark. (2003), ekstrüde bezelye unu ve kanola unu içeren yemlerle beslenen ortalama ağırlığı 36 g olan gökkuşuğu alabalıklarının 12 haftalık besleme süresi sonunda  $172,6-187,8$  g ağırlığa ulaştığını tespit etmişlerdir. Spesifik büyüme oranı (%1,87-1,94) değerleri ile ilgili olarak gruplar arasındaki farkın önemsiz olduğunu bulmuşlardır. Refstie ve ark., (2000), çeşitli oranlarda balık unu ve soya unu kullanarak hazırladıkları yemlerle ortalama ağırlığı 99,2 g olan alabalıkları besledikleri çalışmada yem değerlendirme sayısını balık unu ile 1,2, soya unu ile 1,5 olarak tespit etmişlerdir. Balık unu ve soya unu ile elde edilen değerler bu çalışmada elde edilen değerlerle benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada yavru balıklarda (1,17-1,27) ve genç balıklarda (1,20-1,66). Thiessen ve ark., (2003), başlangıç ağırlıkları 36 g olan gökkuşuğu alabalıklarını ekstrüde bezelye unu ve kanola unu içeren ve protein oranı % 51,7-52,9, yağ oranı % 17,8-21,3 arasında değişen 4 farklı yem ile besledikleri çalışmada, yem değerlendirme sayısı değerlerini 1,06-1,12 arasında tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada, yavru balıklar Thiessen ve ark., (2003) yaptığı çalışma ile benzerlik göstermektedir. Genç balıklarda ise yaptığımız araştırmada daha yüksek yem dönüşüm oranları belirlenmiştir. Morris ve ark., (2005), gökkuşuğu alabalığı yeminde tam yağlı soya kullandıkları çalışmada elde ettikleri yem değerlendirme sayısı değerlerinin 0,78-0,85 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada yavru ve genç balıklarda bu araştırmada elde ettiğimiz yem değerlendirme sayısı değerleri, Morris ve ark. (2005)'nin buldukları değerlerden yüksek çıkmıştır. Bu fark, tam yağlı soya kullanılan yemlerin gökkuşuğu alabalığı tarafından daha iyi değerlendirilmiş olduğu söylenebilir. Palmegiano ve ark., (2006)'nın, gökkuşuğu alabalığı yeminde farklı oranlarda (%0, 20, 35 ve 53) pirinç protein konsantresi kullandıkları çalışmada elde ettikleri yem değerlendirme sayısı değerleri (1,04-1,43), bu çalışmada yavru ve genç balıklarda bu araştırmada elde edilen yem değerlendirme sayısı değerlerine göre benzerlik görülmektedir. Bilgin ve ark., (2007), ise ortalama ağırlığı 36 g olan gökkuşuğu alabalıklarında fındık küspesinin kullanımını araştırdıkları çalışmada yem değerlendirme sayısını

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1197610

1,3-1,5 arasında tespit etmiş olup bu çalışmada yavru ve genç balıklarda bu araştırmada elde edilen yem değerlendirme sayısı değerlerine göre benzerlik görülmektedir.

Çalışmada elde edilen HSI, VSI ve RSI ortalama değerleri ile ilgili olarak; HSI değeri tüm gruplar için ortalama  $0,95 \pm 0,35$  olarak saptanırken, deneme sonunda gruplarda sırası ile  $1,0 \pm 0,03$ ,  $1,25 \pm 0,02$ ,  $1,33 \pm 0,06$ ,  $1,90 \pm 0,05$ ,  $1,55 \pm 0,07$ ,  $1,88 \pm 0,01$ ,  $1,73 \pm 0,03$ ,  $1,50 \pm 0,05$  ve  $1,15 \pm 0,03$  olarak saptanmıştır. RSI değeri tüm gruplar için ortalama  $0,40 \pm 0,38$  olarak belirlenirken, deneme sonunda gruplarda sırası ile  $0,48 \pm 0,2$ ,  $0,96 \pm 0,03$ ,  $0,98 \pm 0,05$ ,  $1,12 \pm 0,5$ ,  $1,02 \pm 0,04$ ,  $0,86 \pm 0,05$ ,  $0,80 \pm 0,09$ ,  $0,75 \pm 0,02$  ve  $0,80 \pm 0,6$  olarak tespit edilmiştir. VSI değeri ise tüm gruplar için ortalama  $10,1 \pm 0,67$  olarak saptanırken, deneme sonunda gruplarda sırası ile  $10,80 \pm 0,05$ ,  $13,75 \pm 0,06$ ,  $14,55 \pm 0,07$ ,  $19,32 \pm 0,3$ ,  $16,24 \pm 0,02$ ,  $15,82 \pm 0,01$ ,  $16,21 \pm 0,05$ ,  $13,76 \pm 0,06$  ve  $11,95 \pm 0,01$  olarak saptanmıştır. Çelik (2005), yaptığı çalışmada, değişik oranlarda yeme katılan E vitaminin ( $110,25$  mg/kg yem kontrol grubu,  $175$  mg/kg yem 1. grup,  $200$  mg/kg yem 2. grup ve  $250$  mg/kg yem 3. grup *Oreochromis niloticus* türünde büyüme parametrelerini incelemiş ve 60 gün devam eden çalışmanın öncesinde tespit edilen HSI değeri  $1,46 \pm 0,02$  olarak saptanmıştır deneme sonunda HSI değerleri, birinci dönemde HSI ortalamaları, en yüksekte ( $2,01 \pm 0,40$ ) en düşüğe ( $1,52 \pm 0,24$ ) doğru sırasıyla 1., 2., 3. ve kontrol gruplarından elde edildiği, grupların ortalamaları arasında istatistiki bir fark olmadığı belirtilmiş ( $p > 0,05$ ). İkinci dönem en yüksek HSI ortalaması ( $2,34 \pm 0,02$ ), kontrol grubunda gözlenmiş. Üçüncü dönemdeki en yüksek HSI ortalaması ( $2,07 \pm 0,11$ ), kontrol grubunda gözlenmiştir. Araştırma sonuçları ilgili literatür verileri ile karşılaştırıldığında bazı parametreler arasında farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Farklılıkların kullanılan balık türüne, uygulamadaki farklılıklara bağlı olduğu düşünülmektedir.

Yapılan araştırmalar farklı balık türlerinde fındık küspesinin kullanım oranlarının %20-40 değerleri arasında olduğunu göstermektedir (Büyükçapar ve Kamalak, 2007; Ergun ve ark., 2008; Emre ve ark., 2008; Bilgin ve ark., 2007). Farklı balık türleri üzerinde yapılan araştırma sonuçlarına göre, fındık küspesinin içeriğinde bulunan antibesinsel faktörlerin balığın sindirim sistemini olumsuz etkilediği ve büyümede gerilemeye neden olduğu tespit edilmiş ve her balık türü için belirli düzeylerde rasyona katılması gerektiği bildirilmiştir (Doğan ve Bircan, 2010).

Balıklar boşaltım ürünlerinin %60'ından fazlasını amonyak olarak sucul ortama bırakmaktadırlar (Yiğit ve ark. 2005). Amonyak salınım miktarını azaltmak sürdürülebilir ve çevre dostu su ürünleri yetiştiriciliği için önem taşımaktadır. Amonyak salınım miktarı entansif yetiştiricilik yapılan özellikle kapalı devre sistemlerde birikerek balıklar için toksik ortam oluşturması ve su koşullarında bozulmalara sebep olarak büyümeyi engellediği için stok yoğunluğunu etkileyen önemli bir parametredir (Obradovic ve ark. 2006, Yiğit ve ark 2005). Zeolit gibi doğal minerallerin yeme ilave edilmesi, boşaltım ürünlerindeki amonyak miktarını düşürmesini hedeflemektedir. Bu çalışmada yeme %3 oranında doğal zeolit eklenmesi büyümeyi olumlu olarak etkilemiştir. Ancak doğal sularda yüksek oranda amonyak birikimi ötrofikasyona sebep olabilmektedir (Wu, 1995). Yeme yüksek oranda zeolit eklenmesi büyümeyi olumsuz yönde etkilediğinden yeme eklenecek zeolit miktarını belirlerken bu etkinin göz önüne alınması gerekmektedir. Balık yemlerine belirli miktarlarda zeolit katkısı balık çiftliklerinde ortama bırakılan amonyak miktarının azaltılmasıyla sürdürülebilir yetiştiriciliğe katkı sağlayacaktır (Tekeşoğlu, 2010).

Sonuç olarak; alabalıklarda, fındık küspesinin %45 ve zeolit ilavesinin %3 kullanıldığı grup, kontrol grubuna göre canlı ağırlık artışı daha fazla olmuştur. Bununla birlikte ağırlık artışı en düşük fındık küspesinin %25 oranında kullanıldığı 2. grupta belirlenmiştir. Bu nedenle rasyonlara balık unu yerine fındık küspesinin %45 ve zeolit ise %3 oranında ilave edilmesinin büyüme üzerine yararlı etkilerinin olduğu ve alabalıkların beslenmesinde olumsuz bir etki göstermeksizin kullanılabileceği belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından, TAGEM/HAYSUD/2015/A11/P-01/9 nolu proje ile desteklenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1197610

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

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

## KAYNAKLAR

- Alceste, C.C. (2000). Tilapia-Alternative Protein Sources in Tilapia Feed Formulation. *Aquaculture Magazine*, 26 (4).
- AOAC, (2002). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, ed. 17th, Maryland.
- Aybal, N.Ö. (2001). Klinoptilolitin Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yemlerinde Yem Katkı Maddesi Olarak Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Belen, V. (2009). Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Yemlerinde İki Farklı Oranda Ekstrüde Fasulye Unu Kullanımının Büyüme, Yem Değerlendirme ve Vücut Kompozisyonu Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.
- Bilgin, Ö., Türkler, A. ve Tekinay, A.A. (2007). The Use of Hazelnut Meal as a Substitute for Soybean Meal in the Diets of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 31(3), 145-151.
- Bilgüven, M. ve Kurt, G. (2002). Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yemlerinde Çeşitli Tahıl Daneleri Kullanılmasının Büyüme, Yemden Yararlanma ve Yem Tüketimi Üzerine Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (2): 1-9.
- Boonyaratpalin, M., Suraneiranat, P. ve Tunpibal, T. (1998). Replacment of Fish Meal with Various Types of Soybean Products in Diets for the Seabass, Lates Calcarifer. *Aquaculture*, 161(1-4), 67-78.
- Bozkurt, M., Çabuk, M., Basmacıoğlu, H., ve Alççek, A. (2001). Yumurta Tavuğu Karma Yemlerine İlave Edilen Doğal Zeolit'in Yumurta Verimi ve Yumurta Kabuk Kalitesine Etkileri: Enerji ve Protein Düzeyi Dengelenmemiş Karmalara Doğal Zeolit İlavesi. *Hayvansal Üretim*, 42 (1): 21-27.
- Büyükçapar, H. M. ve Kamalak, A. (2007). Partial Replacement of Fish and Soybean Meal Protein in Mirror Carp (*Cyprinus carpio*) Diets By Protein in Hazelnut Meal. *South African Journal of Animal Science*, 37, 35-44.
- Cheng, Z.J. ve Hardy, R.W. (2002). Apparent Digestibility Coefficients and Nutritional Value of Cottonseed Meal for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 212: 361-372.
- Cho, C.Y. ve Slinger, S.J. (1979). Apparent Digestibility Measurement in Feed Stuffs for Rainbow Trout, Finfish Nutrition and Fish Feed Technology, II: 239-247.
- Çelik, F. (2005). Değişik Oranlarda Yeme Katılan E Vitaminin *Oreochromis niloticus* L., 1758 Türünün Büyüme Parametreleri ve Bazı Dokularının Histolojisi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çetinkaya, O. (1995). Balık Besleme, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 9, Van.
- Danabaş, D. (2009). Farklı Oranlardaki Zeolit (Klinoptilolit)'in Bazı Su Parametreleri ile Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792)'nin Gelişimi ve Vücut Kompozisyonuna Etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Demir, O., ve Aybal, N.Ö. (2004), Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) Yemlerinde Clinoptilolite'nin Farklı Oranlarda Yem Katkı Maddesi Olarak Kullanımı. Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 2(2), 15-19.
- Doğan, G. (2005). Farklı Oranlarda Fındık Posası İçeren İsonitrojenik Rasyonların Gökkuşığı Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Büyümesi, Kimyasal Yapısı ve Sindirilebilirlik Oranı Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Doğan, G. ve Bircan, R. (2010). Balık Yemlerinde Alternatif Bitkisel Protein Kaynağı Olarak Fındık Küspesi Kullanımı, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 49 -57.
- Edwards, D.J. (1978), *Salmon and Trout Farming in Norway*, Farnham, Surrey, England.
- Emre, Y., Sevgili, H. ve Şanlı, M. (2008). A preliminary study on the utilization of hazelnut meal as a substitute for fish meal in diets of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture Research*, 39, 324-328.
- Erener, G. (1991). Fındık Küspesinin Yumurta Tavuk Rasyonlarında Kullanılabilirlik Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Ergun, S., Yigit, M., Turker, A. ve Harmantepe, B. (2008). Incorporation of Soybean Meal and Hazelnut Meal in Diets for Black Sea Turbot (*Scophthalmus maeoticus*). *The Israeli Journal of Aquaculture Bamidgah*, 60, 27-36.
- Francesco, M., Parisi, G., Medale, F., Lupi, P., Kaushik, S.J. ve Poli, B.M. (2004). Effect of Long-Term Feeding with a Plant Protein Mixture Based Diet on Growth and Body/Filet Quality Traits of Large Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 236, 413-429.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1197610

- Furukawa, A., ve Tsukahara, H. (1966). On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bulletin of The Japanese Society of Scientific Fisheries, 32(6), 502-50.
- Göğüş, K. ve Kolsarıcı, N. (1992). Su Ürünleri Teknolojisi, A.Ü. Zir. Fak. Yayınları: 1243, Ders Kitabı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Baskı Ofset Ünitesi, Ankara.
- Halver, J.E. (1972). Fish Nutrition, Academic Press Inc., New York.
- Halver, J.E. (1989). Fish Nutrition, Second Ed., Academic Press Inc., New York.
- Hoşsu, B., Korkut, A.Y. ve Fırat Kop, A. (2005). Balık Besleme ve Yem Teknolojisi I, Ege Üniversitesi Yayınları, No 50, İzmir.
- Kanyılmaz, M. (2008). Sazan Yemlerine (*Cyprinus carpio* L., 1758) Farklı Oranlarda Zeolit (Klinoptilolit) Katkısının Büyüme, Vücut Kompozisyonu, Bazı Kan Parametreleri ve Bağırsak Mukoza Morfolojisi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı, Adana.
- Kaygısız, F.H., Çörekçi, S., Altinel, A., Ak, S., Güneş, H., ve Demir, H. (2003). Broiler Üretiminde Zeolitli Altılığın Tekrar Kullanılabilirliğinin Fayda-Maliyet Analizi. İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 29(1), 43-50.
- Kerim, M. (2011). Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Yeminde Aspir Küspesinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.
- Mattson, N.S. ve Ripley, T.H. (1989). Metomidate, a Better Anaesthetic for Cod (*Gadus morhua*) in Comparison with Benzocain, MS-222, Choloro Butanol and Phenoxyethanol. Aquaculture, 83, 89-94.
- Morris, M.G., Viswanath, V. ve Ackerman, P.L. (2005). Gender and age differences in employee decisions about new technology: an extension to the theory of planned behavior. Transactions on Engineering Management, 52 (1), 69-84.
- Mourente, G. ve Dick, J.R. (2002). Influence of Partial Substitution of Dietary Fish Oil by Vegetable Oils on the Metabolism of (1-14C) 18:3n-3 in Isolated Hepatocytes of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Fish Physiology and Biochemistry, 26, 297-308.
- NRC, (National Research Council) (1993). Nutrient Requirements of Fish, National Academies Press, Washington, DC.
- Obradovic S., Adamovic M., Vukasinovic M., Jovanovic, R. ve Levic J. (2006). The Application Effects of Natural Zeolite in Feed and Water on Production Results of *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Roumanian Biotechnological Letters, 11: 3005-3013.
- Özer, A. (2002). Soya küspesi yerine fındık küspesinin bıldırcınların gelişme ve yumurta verim özelliklerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Refstie, S., Korsoen, O.J., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Lein, I. ve Roem, A.J. (2000). Differing Nutritional Responses to Dietary Soybean Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic Salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 190: 49– 63.
- Sanz, A., Morales, A.E., Higuera, M. ve Cardenete, G. (1994). Sunflower Meal Compared with Soybean Meal as Substitutes for Fish Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Diets: Protein and Energy Utilization. Aquaculture, 128: 287-300.
- Sarı, M. ve Çakmak, M.N. (1996). Balık Besleme, Fırat Üniversitesi Yayınları.
- Steffens, W. (1989). Principles of fish nutrition. Ellis Horwood Limited,
- Su, G., Ren, J., Yang, B., Cui, C. ve Zhao, M. (2011). Comparison of Hydrolysis Characteristics on Defatted Peanut Meal Proteins Between a Protease Extract from *Aspergillus oryzae* and Commercial Proteases. Food Chemistry, 126, 1306-1311.
- Tekeşoğlu, H. (2010). Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yemine zeolit katılmasının büyüme, yemden yararlanma ve bazı kan parametreleri üzerine etkisi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Thiessen, D.L., Campbell, G.L. ve Adelizi, P.D. (2003). Digestibility and Growth Performance of Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed with Pea and Canola Products. Aquaculture Nutrition, 9, 67-75.
- Töre, Y. (2006). Doğal Zeolit ve Nişastanın Tilapia Balıkları Yeminde Dolgu Maddesi Olarak Kullanımının Bazı Vücut ve Kan Kompozisyonu ile Su Kalitesi Parametreleri Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- TSE, (1974a). Et ve Mamüllerinde Toplam Yağ Tayini, T.S. 1745, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, (1974b). Et ve Mamüllerinde Kül Tayini, T.S. 1746, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Windell, J.T., Foltz, J.W. ve Sarokon, J.A. (1978). Methods of Fecal Collection and Nutrient Leaching in Digestibility Studies. The Progressive Fish Culturist, 40 (2): 51-55.



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1197610

- Wu R.S.S., (1995). The Environmental Impact of Marine Fish Culture: Toward a Sustainable Future. Marine Pollution Bulletin, 31(4-12), 159-166.
- Yeşilayer, N. Kaymak, I.E., Gören, H.M. ve Karşlı, Z. (2013). Balık Yemlerinde Balık Ununa Alternatif Bitkisel Protein Kaynaklarının Kullanım Olanakları. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 4, 12-30.
- Yılmaz, E. (2014). Alabalık Yeminde Bitki Ekstraktları Kullanımının Büyüme, Yemden Yararlanma ve Vücut Kompozisyonu Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yiğit M., Erdem M., Aral O. ve Karaali B. (2005). Nitrogen Excretion Patterns and Postprandial Ammonia Profiles in Black Sea Turbot (*Scophthalmus maeoticus*) Under Controlled Conditions, Israeli Journal of Aquaculture, 57, 231-240.



## Tek Fazlı Z-Kaynaklı Matris Dönüştürücü Modellenmesi ve Simülasyonu

Zeynep Bala Duranay\*, Hanifi Güldemir

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

\* zbduranay@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, hguldemir@firat.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 13.01.2023, Makale kabul tarihi: 26.05.2023

### Öz

Bu makalede, değişken bir çıkış gerilimi ve kademeli olarak değişen bir çıkış frekansı elde etmek için tek fazlı matris dönüştürücü ile birlikte Z-kaynak ağı kullanılan bir alternatif akım-alternatif akım (AA-AA) dönüştürücü yapısı incelenmiştir. Bu dönüştürücü yapısında, çıkış gerilimi ve frekansı hem düşürülebilmekte hem de yükseltilebilmektedir. Matris dönüştürücü, doğrudan AA-AA dönüşüm yaparken anahtarlama stratejisi ile çıkış frekansını kademeli olarak değiştirme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca, doğrudan AA-AA dönüştürme özelliği sayesinde, geleneksel dönüştürücülerde kullanılan büyük bir DA bağlantı kondansatörüne olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır. Böylece sistem hem daha az maliyetli hem de daha az karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Bu çalışmada, çeşitli uygulamalarda farklı hız değerlerini elde etmek için kullanılan tek fazlı asenkron motoru sürmek için tek fazlı Z-kaynaklı matris dönüştürücü kullanılmıştır. Bu yapı, asenkron motorun başlatılmasında veya kademeli bir hız ihtiyacı duyan asenkron motorun hız kontrolünde kullanılabilir. Tek fazlı Z-kaynaklı matris dönüştürücü MATLAB/Simulink ortamında modellenerek simülasyonu yapılmış ve farklı frekans değerleri için simülasyon sonuçları hem direnç-bobin (RL) yükü için hem de tek fazlı asenkron motor için sunulmuştur. Dönüştürücü akım ve geriliminin harmonik spektrumu da incelenerek, harmonik bozulma değerleri farklı frekanslar için verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çift yönlü anahtar, doğrudan AA-AA dönüştürücü, matris dönüştürücü, Z-kaynak ağı

## Modelling and Simulation of Single Phase Z-Source Matrix Converter

### Abstract

In this article, an alternating current-alternating current (AC-AC) converter structure using a single-phase matrix converter together with a Z-source network is examined to obtain a variable output voltage and a gradually varying output frequency. In this converter structure, the output voltage and frequency can be both reduced and increased. The matrix converter provides the opportunity to gradually change the output frequency with the switching strategy when performing direct AC-AC conversion. With this direct AC-to-AC conversion feature, it has eliminated the need for a large DC link capacitor used in conventional converters. Thus, the system is less costly and has a more compact structure. In this study, a single-phase Z-source matrix converter is used to drive a single-phase asynchronous motor, which is used to obtain different speed values in various applications. With this structure, it can be used to start an asynchronous motor or to control the speed of an asynchronous motor that needs a gradual speed. Single-phase Z-source matrix converter is modeled and simulated in MATLAB/Simulink environment and simulation results are given for different frequency values for both resistance-inductance (RL) load and single phase induction motor.

**Keywords:** Bidirectional switch, direct AC-AC converter, matrix converter, Z-source network

### GİRİŞ

Alternatif akım motorlarının kullanıldığı endüstriyel uygulamalarda, motor hızının değiştirilebilmesi için, motora uygulanan gerilimin frekansının değiştirilmesi gerekmektedir. Bir fazlı, bir frekans değiştirici oluşturmak için, anahtar olarak tristörün kullanıldığı faz kontrollü bir AA-AA frekans değiştirici kullanılabilir. Bu tür bir

frekans değiştiricinin çıkış gerilimi sabit, frekans aralığı dar olup, aynı zamanda güç kaynağında düşük frekanslı harmonikler oluşturmakta ve giriş güç faktörü de düşük olmaktadır. Bu probleme çözüm olarak, AA gücünü bir frekanstan başka bir frekansa dönüştüren ve çift yönlü akım geçiren yarı iletken

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1233654

anahtarların kullanıldığı matris dönüştürücüler kullanılmaktadır.

Matris dönüştürücü yapısı ilk olarak 1976 yılında Gyugyi tarafından önerilmiş olup (Pelly, B. R. ve Gyugyi, L., 1976), tek fazlı matris dönüştürücü ise ilk olarak Zuckerberger (Zuckerberger, A., Weinstock, D. ve Alexandrovitz, A., 1997) tarafından 1997 yılında ortaya konulmuştur. Sonrasında yeni topolojiler tanımlanmış (Hosseini, S. H. ve Babaei, E., 2001; Khoei, A. ve Yuvarajan, S., 1988) ve gerilim dönüştürme oranı iyileştirilmiştir (Alesina, A. ve Venturini, M. G., 1989; Idris, Z., Hamzah, M. K. ve Saidon, M. F., 2006).

Geleneksel tek fazlı matris dönüştürücü topolojisinde (Pelly, B. R. ve Gyugyi, L., 1976; Rahman, A., 2019), AA çıkış geriliminin genliği AA giriş gerilimi genliğinden daha düşüktür. Ayrıca tek fazlı bir bacağın iki yönlü anahtarının aynı anda açılması durumunda oluşacak akım yükselmeleri anahtarları (Flaxer, E., 2022) tahrip edecektir. Z-kaynak topolojisi (Hasan Babayi Nozadian, M., Babaei, E., Hosseini, S. H. ve Shokati Asl, E., 2019; Aleem, Z., Yang, H. K., Ahmed, H. F., Winberg, S. L. ve Park, J. W., 2020; Mousavi, S. M. J., Babaei, E., Alizadeh, D. ve Komurcugil, H., 2021) kullanılarak bu sınırlamaların üstesinden gelinmektedir.

Z-kaynaklı AA-AA dönüştürücülerin, daha geniş bir çıkış gerilimi aralığı sağlamak gibi bir takım avantajları vardır. Azaltma-yükseltme modu ile ani akımı ve harmonik akımı da azaltır. Matris dönüştürücü ve Z-kaynak yapısı ile hem değişken bir çıkış gerilimi hem de kademeli bir frekans değişimi ile AA-AA güç dönüşümü gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada, Z-kaynak matris dönüştürücüler ve anahtarlama durumları incelenerek, Matlab/Simulink ortamında dönüştürücü devresi gerçekleştirilmiştir. Tek fazlı Z-kaynak matris dönüştürücünün çalışma şeklinin daha iyi anlaşılabilmesine katkı sağlayacak benzetim çalışması yapılmış ve farklı frekans değerleri için benzetim sonuçları verilmiştir.

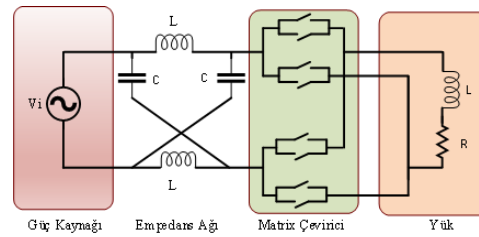
## MATERYAL VE METHOD

### Z-Kaynak Ağı

Z-kaynak ağı, Şekil 1' de gösterildiği gibi, simetrik bir empedans ağıdır ve bu simetrik empedans ağı iki bobin ve iki kondansatör bulundurur. Bobinlerin ve kondansatörlerin değerleri yüksek

anahtarlama frekansı nedeniyle küçüktür ve birbirine eşittir, yani  $L_1=L_2$  ve  $C_1=C_2$ . Z-kaynak ağı, kısa devre sıfır konumu özelliği sağlar. Bu durum sistemin karmaşık olmayan yapısına zarar vermeden sisteme düşürücü yükseltici özellik kazandırır (Fang, X. ve Liu, J., 2012).

Z-kaynak empedans ağı, ana devreyi güç kaynağına, yüke veya dönüştürücüye bağlamak için kullanılır. Sistemin gerilim değerinin düşürülmesi veya yükseltilmesi istenilen durumlarda Z-kaynak empedans ağı kullanılarak gerilim değeri ayarlanır.



Şekil 1. Z-kaynak empedans ağı

### Tek Fazlı Matris Dönüştürücü

Dönüştürücüler temelde, sabit genlik ve frekanslı kaynak gerilimini, değişken genlik ve frekanslı çıkış gerilimine çevirmek için kullanılır. Dönüştürme işlemi ara devre kullanılarak yapılırsa ara devreli dönüştürücü, ara devre kullanmadan doğrudan yapılırsa doğrudan dönüştürücü olarak adlandırılır. Doğrudan dönüştürücülere matris dönüştürücü örnek olarak verilebilir.

Matris dönüştürücülerde ara devre elemanı olmadığından karmaşık olmayan bir yapıya sahiptir ve sinüsoide yakın giriş ve çıkış dalga şekilleri ile üzerinde çalışmaya imkân tanımıştır. Matris dönüştürücü tek bir adımda doğrudan AA-DA, DA-AA, DA-DA ve AA-AA dönüşümü yapabilen esnek bir dönüştürücü olup, çift yönlü enerji akışı özelliğine sahiptir.

Matris dönüştürücülerin reaktif enerji depolama elemanına ihtiyaç duymaması, çıkışta istenilen frekans ve gerilim dönüşümünü tek adımda gerçekleştirmesi, karmaşık yapıda olmaması, dört bölge çalışması, çift yönlü güç akışı sağlaması ve güç faktörünün kontrol edilmesi ilgi çekici özelliğidir.

Bu çalışmadaki topolojide, dönüştürme işlemi için tek fazlı matris dönüştürücü kullanılmaktadır.

Tek fazlı matris dönüştürücülerde dört adet çift yönlü anahtar kullanılmaktadır. Kullanılan anahtarlar ters yönde akımı bloke edebilmekte ve iki yönlü akım iletebilmektedir. Bu anahtar özelliği IGBT, MOSFET gibi yarı iletken anahtarlar ile diyot birlikte kullanılarak sağlanmaktadır. Bir kısım anahtar grubu, giriş geriliminin pozitif olduğu sürede ileri akım akışına izin verirken; diğer bir grup anahtar, giriş geriliminin negatif olduğu sürede ters yönde akım akışına izin vermektedir.

Devre yapısında, tek fazlı matris dönüştürücü ile birlikte Z-kaynak empedans ağı kullanılır. Böylece, matris dönüştürücünün çıkış geriliminin, giriş geriliminin %86,6'sı ile sınırlı olma durumu, Z-kaynak empedans ağının geniş gerilim aralığı sunan benzersiz özelliği ile ortadan kaldırılmış olur.

### Devre Yapısı

Tek fazlı asenkron motorlar, küçük güç gerektiren bulaşık ve çamaşır makinesi, kurutucu gibi ev aletlerinde, fanlarda, üç fazın olmadığı endüstriyel uygulamalarda ve ticari alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Tek fazlı asenkron motorların yaygın kullanım nedenleri, sağlam yapıya sahip olması, bakım gerektirmemesi ve sık arıza yapmamasıdır (Belousov, A. S., Meshcheryakov, V. N., Valtchev, S. ve Kryukov, O. V., 2021).

Tek fazlı asenkron motorları sürmek için çeşitli dönüştürücü yapıları kullanılabilir. Geleneksel sürücü sistemlerinin, çıkış geriliminin giriş geriliminin alt seviyesinde kalması, gerilim düşüşleri, düşük güç faktörü, güvenilirlik gibi sınırlamaları ve sorunları vardır. Geleneksel sürücü sistemlerinde, bu engel ve sınırlamaları ortadan kaldırmaya çalışmak, hem sistemin boyutunun büyümesine hem de maliyetinin artmasına neden olur (Endiz, M. S. ve Akkaya, R., 2020).

Bu çalışmada tek fazlı asenkron motoru sürmek için Z-kaynaklı matris dönüştürücü kullanılmıştır. Matris dönüştürücünün esnek çalışma özelliği, anahtarlarının darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilmesiyle kazanılabilir. Z-kaynak empedans ağı ise, çıkış gerilimini artırarak yükseltici olarak çalışabilme imkanı sağlar. Ayrıca güç faktörünü iyileştirir ve gerilim düşüşleri sırasında tekrar çalışmaya devam etme özelliği sağlar.

Z-kaynak ağı ile matris dönüştürücü birlikte kullanılarak karmaşık olmayan yapıda güvenilir ve

tek bir adımda dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Böylece farklı gerilim ve frekans değerlerinde kademeli değişiklik elde edilebilen yapı kazanılmış olur.

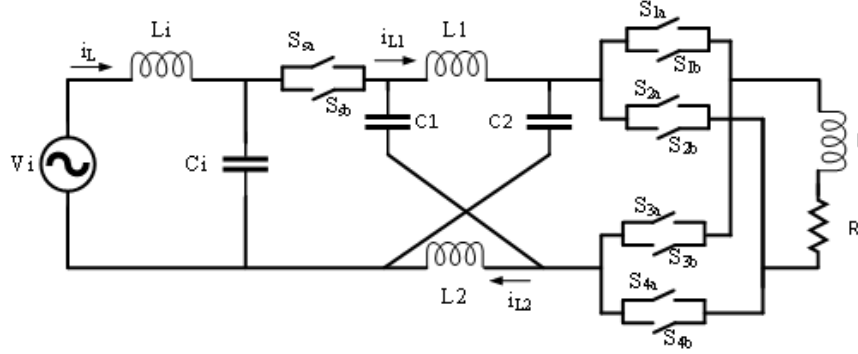
Z-kaynak matris dönüştürücü, tek fazlı AA kaynaktan beslenir. LC giriş filtresi, matris dönüştürücünün giriş gerilimini etkileyen harmoniklerini azaltmak için kullanılır. Z-kaynak ağı, çıkışta istenilen gerilim değerini üretmek için kullanılır ve böylece asenkron motorun ana ve yardımcı sargularına uygulanan gerilim iyileştirilmiş olur. Z-kaynak ağının çıkışı, matris dönüştürücüye uygulanır. Tek fazlı matris dönüştürücü ise, anahtarlama stratejisini değiştirerek çıkışta kademeli bir şekilde frekansı değiştirir. Böylece, kademeli olarak değişen bir hıza ihtiyaç duyan asenkron motorun, hız kontrolünde kullanılabilir bir yapı gerçekleştirilmiş olur.

### Anahtarlama Durumları

Giriş besleme frekansı  $f_i$  için tek fazlı matris dönüştürücünün anahtarları, çıkışta  $f/2$ ,  $f$  ve  $2f$  değerlerini görmek için uygun sırada çalıştırılır. Bu şekilde tek fazlı matris dönüştürücü, frekans dönüştürücü olarak çalıştırılmış olur. Tek fazlı matris dönüştürücünün anahtarlarına, basit yapısı olduğu ve iyi sonuç verdiği için darbe genişlik modülasyonu (DGM) uygulanır.

Bu çalışmada gerçekleştirilmesi istenen sistemin devre yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Burada,  $L_i$  ve  $C_i$  giriş filtresi elemanları,  $S_{sa}$  ve  $S_{sb}$  ise pozitif ve negatif yarım periyot için sürücü anahtarlarıdır.  $L_1=L_2$  ve  $C_1=C_2$  elemanları Z-kaynak ağını oluşturur.  $S_{ij}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ;  $j= A, B$ ) ise matris dönüştürücünün anahtarıdır.

Z-kaynak ağının ek çalışma durumu, aynı faz ayağındaki hem üst hem de alt anahtarlarının açık duruma getirilerek, yükün kısa bir süre için kısa devre edilmesi şeklindedir. Bu durumda Z-kaynak ağındaki bobinler ve kondansatörler şarj edilir ve bu sürenin uzunluğuna bağlı olarak çıkış geriliminin genliği artırılmış olur. Z-kaynak ağının ek çalışma durumu ile aktif durumu ve serbest dönüş yolu durumu birleştirilmiştir. Böylece çıkış gerilimini yükselticidönüştürücü durumda kullanma özelliği elde edilmiş olur.



Şekil 2. Devre topolojisi

Tablo 1’de verildiği gibi, matris dönüştürücünün, 50 Hz çıkış frekansı için iki çalışma modu bulunmakta iken, 25 Hz ve 100 Hz çıkış frekansları için ise, dört farklı çalışma modu vardır. Aktif çalışma durumunda, giriş geriliminin pozitif olduğu sürede A anahtarları açık durumda iken, giriş geriliminin negatif olduğu sürede ise B anahtarları açık durumdadır. Sabit çıkış frekansı ise iki farklı çalışma modu ile gerçekleştirilir.

Matris dönüştürücülerde, geleneksel dönüştürücülerde olan anahtarlar iletimden çıktığında kullanılan serbest dönüş yolu bulunmamaktadır. Serbest dönüş yoluna olan ihtiyaç indüktif yük kullanıldığında ortaya çıkar. Serbest dönüş yolu sağlamak için, snubber devresi kullanmadan, PWM anahtarlarına ölü zaman ekleyerek sürekli bir akım yolu kazandırılır. Bu yapıda, komütasyon için pozitif yarım periyot sırasında üst anahtarlar, negatif yarım periyot sırasında ise alt anahtarlar kullanılır (Nguyen, M. K., Jung, Y. G., Lim, Y. C. ve Kim, Y. M., 2009).

Z-kaynaklı AA-AA dönüştürücünün giriş ve çıkış arasındaki ilişki şu şekilde açıklanabilir. Çıkış frekansı 100 Hz olmasının istenildiği durumda mod 1 için,  $S_{1A}$  ve  $S_{4A}$  aktif durumdadır ve akım akışını sürdürür. Burada  $S_{4A}$ ’ya darbe genişlik modülasyonu uygulanır. “T”, anahtarlama periyodu ve “ $T_1$ ” ise  $S_{4A}$  anahtarının gerçekleştirdiği aralık olsun, o zaman modülasyon indeksi

$$M = T_1/T \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir.

$S_{3A}$  anahtarı, Z-kaynak ağının ek kısa devre durumunun gerçekleştirildiği anahtardır ve  $S_{4A}$  anahtarının tamamlayıcısıdır. “ $T_0$ ”,  $S_{3A}$  anahtarının gerçekleştirdiği aralık olan görev oranı (D) ifadesi,

$$D = T_0/T \quad (2)$$

olarak yazılabilir ve

$$M + D = 1 \quad (3)$$

dir.

Aktif durum, Z-kaynak ağının ek kısa devre durumunun gerçekleşmediği kısımdır. Tüm bu çalışma durumları ve ifadeler dikkate alınarak giriş ve çıkış gerilimi arasındaki bağıntı,

$$V_0 = \frac{1-D}{1-2*D} * V_i \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $V_i$  ve  $V_0$ , tek fazlı matris dönüştürücünün, sırasıyla giriş ve çıkış gerilimlerinin efektif değerleridir.

Bu yapıda, çıkış geriliminin genliği görev oranı D ile kontrol edilirken, çıkış geriliminin frekansı anahtarlama stratejisine bağlıdır.

Güvenli komütasyon ile geliştirilmiş anahtarlama stratejisi ve farklı çalışma modları Tablo 1’de gösterilmiştir. Aynı koldaki anahtarların kapalı olup, yükü kısa devre etme durumları (shoot-through) olarak adlandırılmaktadır. İlgili tabloda hangi anda yükü kısa devre yapabilecek anahtarlar da verilmiştir.

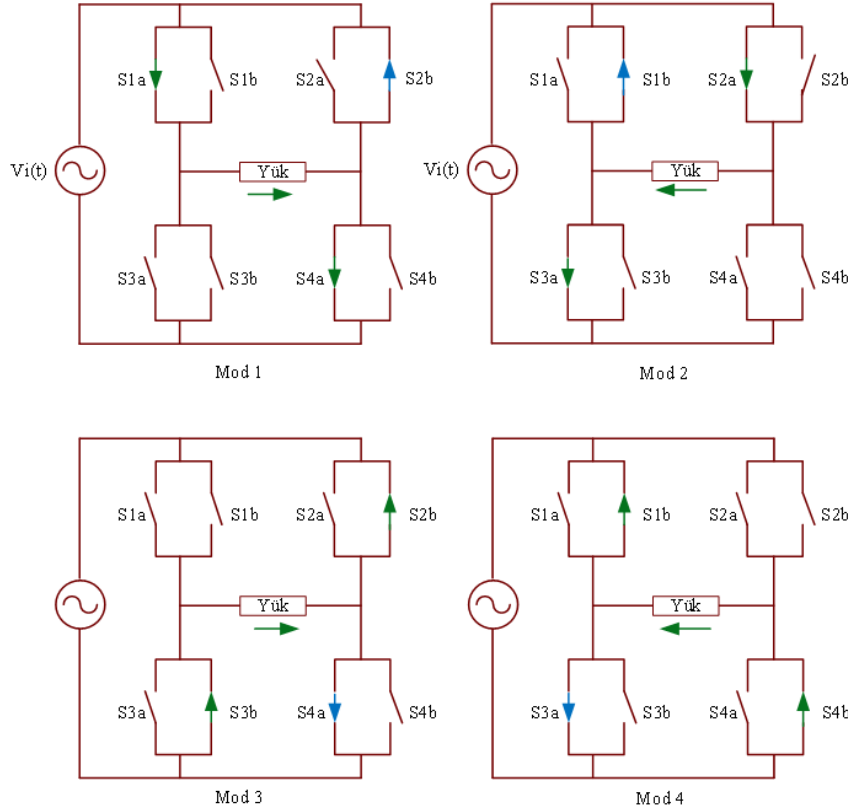
Tablo 1. Farklı frekans oluşturmadaki anahtarlama durumları

Çıkış Frekansı (Hz)	Mode	Çalışma Durumu		
		Aktif	Serbest Dolaşım	Kısa Devre Durumu (Shoot Through)
25	1	$S_{sa}, S_{1a}, S_{4a}$	$S_{2b}$	$S_{1a}, S_{3a}$
	2	$S_{sb}, S_{2b}, S_{3b}$	$S_{4a}$	$S_{1b}, S_{3b}$
	3	$S_{sa}, S_{2a}, S_{3a}$	$S_{1b}$	$S_{2a}, S_{4a}$
	4	$S_{sb}, S_{1b}, S_{4b}$	$S_{3a}$	$S_{2b}, S_{4b}$
50	1	$S_{sa}, S_{1a}, S_{4a}$	$S_{2b}$	$S_{1a}, S_{3a}$
	2	$S_{sb}, S_{1b}, S_{4b}$	$S_{3a}$	$S_{2b}, S_{4b}$
100	1	$S_{sa}, S_{1a}, S_{4a}$	$S_{2b}$	$S_{1a}, S_{3a}$
	2	$S_{sa}, S_{2a}, S_{3a}$	$S_{1b}$	$S_{2a}, S_{4a}$
	3	$S_{sb}, S_{2b}, S_{3b}$	$S_{4a}$	$S_{1b}, S_{3b}$
	4	$S_{sb}, S_{1b}, S_{4b}$	$S_{3a}$	$S_{2b}, S_{4b}$

100 Hz çıkış frekansı için, dört çalışma modunda, güvenli komütasyonlu matris dönüştürücünün çift yönlü anahtarlarının kullanımı Şekil 3’te gösterilmiştir.

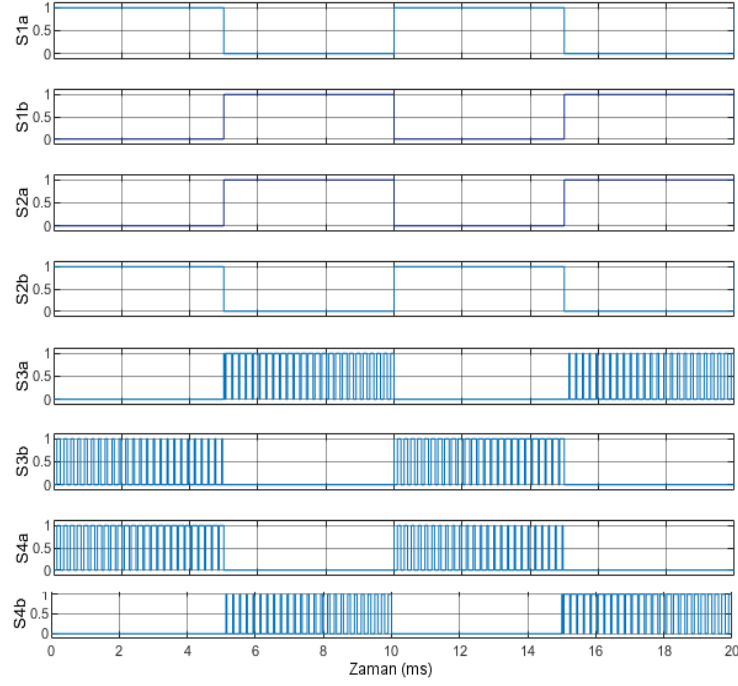
Şekil 3’te mod 1 açıklanacak olursa, burada  $S_{1A}$  ve  $S_{4A}$  iletimde akım akışını sürdürür.  $S_{2B}$

komütasyon anahtarı olarak seçilmiştir.  $S_{1A}$  ve  $S_{2B}$  ‘ye kare dalga,  $S_{4A}$ ’ya DGM uygulanır.  $S_{4A}$  kesimde ise akım akışı  $S_{1A}$  ve  $S_{2B}$  üzerinden devam eder. Giriş ve çıkış gerilimi pozitifdir. Oluşturulan anahtarlar işaretleri ise Şekil 4’te verilmiştir



Şekil 3. Anahtar durumları pozitif yarım periyot için mod 1, mod 2, negatif yarım periyot için mod 3, mod 4 (Yeşiller iletim, maviler ise komütasyon anahtarlarıdır)



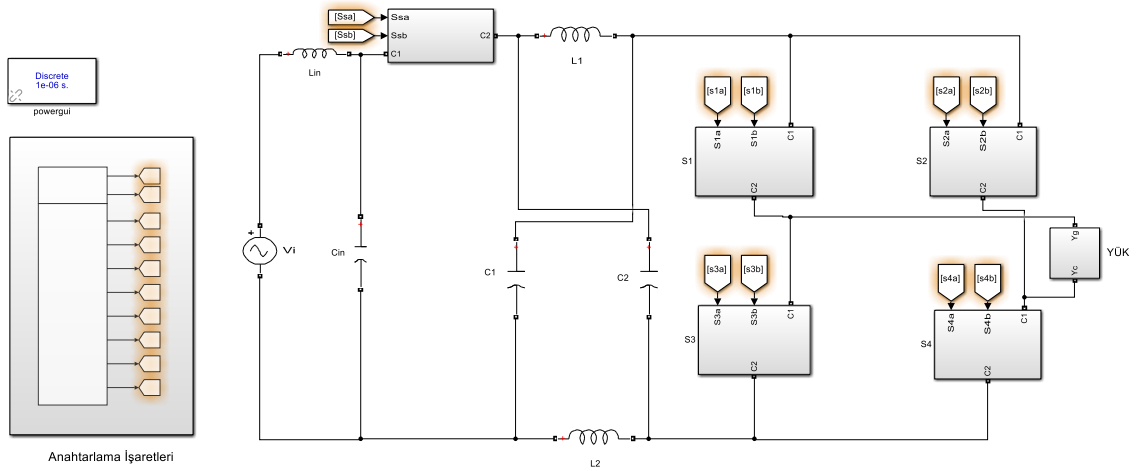


Şekil 4. 100 Hz içim anahtarlama işaretleri

## SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

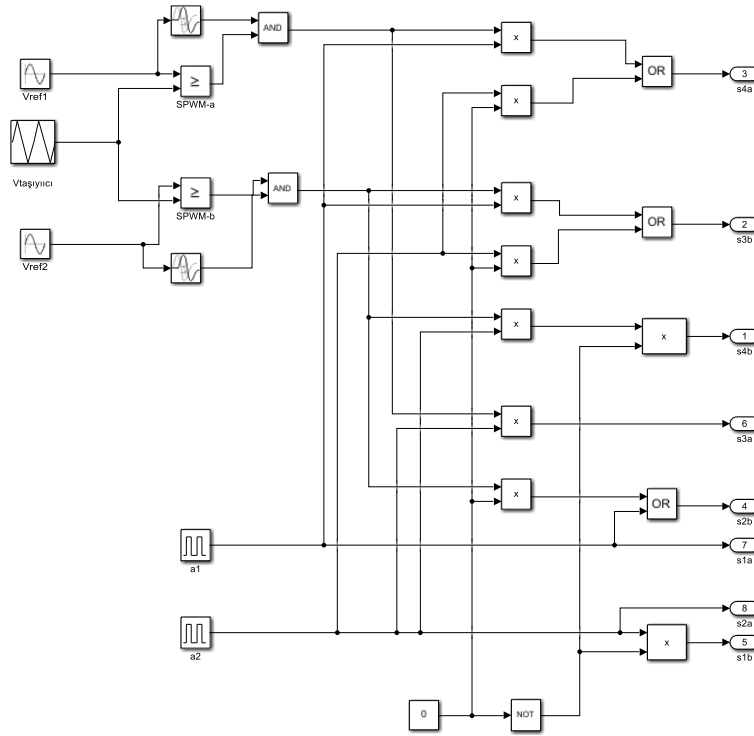
Z-kaynak matris dönüştürücü devresi, Şekil 5' te verilen simulink bloğu ile modellenerek, üç farklı frekans değeri 25 Hz, 50 Hz ve 100 Hz için performansı incelenmiştir.

Şekil 5' te verilen blok diyagramındaki, çift yönlü anahtar yapısı ile anahtarlama işaretlerinin üretildiği bloğun iç yapıları ise, sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7' de verilmiştir.

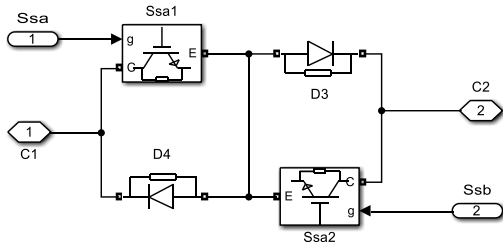


Şekil 5. Z-kaynak matris dönüştürücü simulink modeli

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1233654



Şekil 6. Anahtarlama işaretlerinin üretildiği Simulink blok diyagramı



Şekil 7. Çift yönlü anahtar yapısı

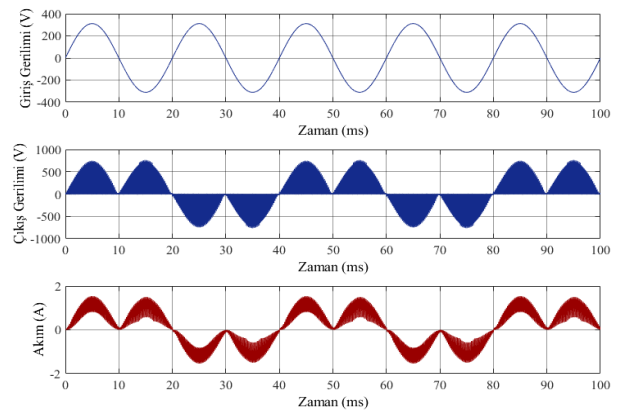
Devreye ait parametreler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Dönüştürücü devre parametreleri

Giriş Gerilimi	100 V p-p
$L_i$	0.1 mH
$C_i$	6 mF
$L_1=L_2$	1 mH
$C_1=C_2$	1 mF
Yük	$R=100 \Omega, L=5 \text{ mH}$
Anahtarlama Frekansı	20 kHz
Ölü zaman	0.5 ms

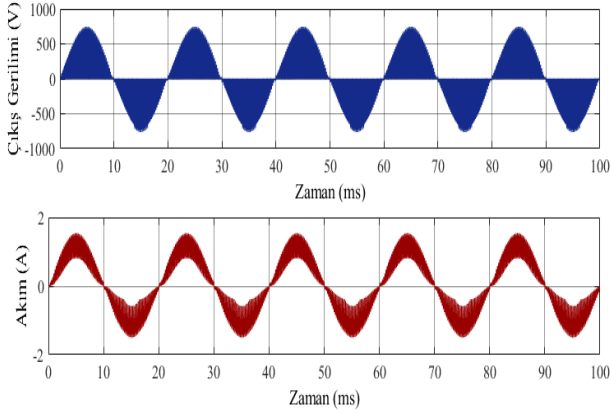
Tablo 2' de belirtilen bobinlerin ve kondansatörlerin değerleri, (Nguyen, M. K., Jung, Y. G., Lim, Y. C. ve Kim, Y. M., 2009) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır.

Simulasyon sonuçlarında elde edilen dalga şekilleri sırasıyla 25, 50 ve 100 Hz için Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10' da verilmiştir.

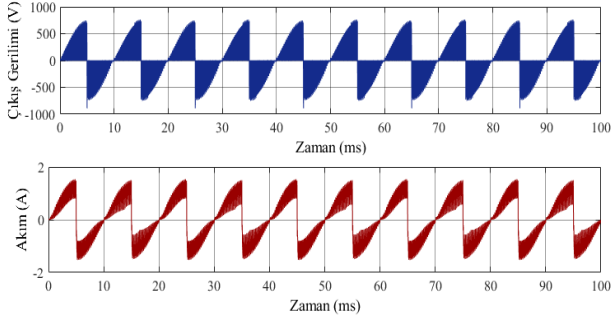


Şekil 8. 25Hz için giriş ve çıkış gerilimleri ile çıkış akımı

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1233654



Şekil 9. 50 Hz için çıkış gerilimi ile çıkış akımı

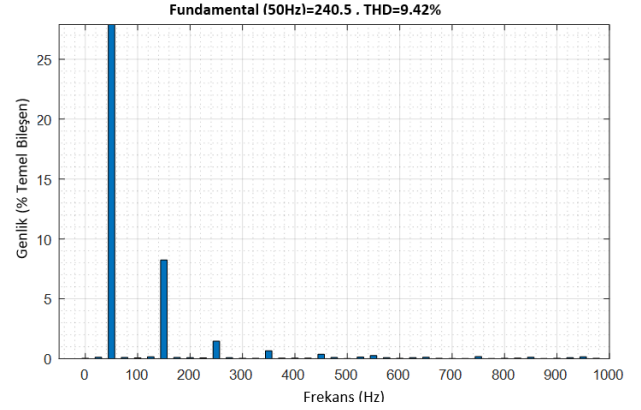


Şekil 10. 100 Hz için çıkış gerilimi ile çıkış akımı

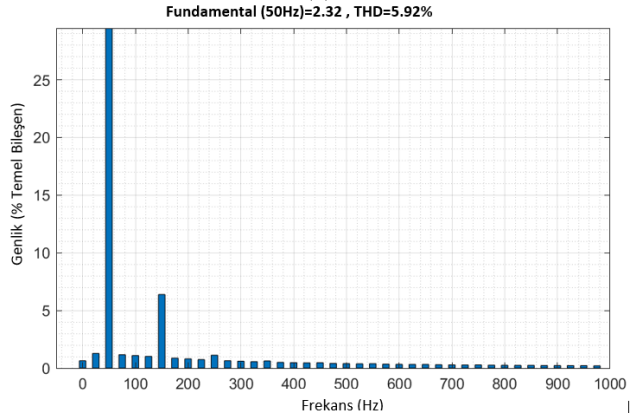
Devrede kaynak geriliminin değeri, her üç frekans değeri için de aynı olup, kaynak frekansı ise 50 Hz dir. Simulasyonlarda, Z-kaynak matris dönüştürücünün, devrenin giriş frekansını yarıya düşürme ve iki katına çıkarma durumları dalga şekillerinden açıkça görülebilmektedir.

Çıkış gerilim ve akımının harmonik spektrumu incelenmiş ve 50 Hz frekans değeri için Şekil 11'de verilmiştir.

Çıkış gerilim ve akımının, 25 Hz, 50 Hz ve 100 Hz için toplam harmonik bozulma (THB) değerleri, Tablo 3'te verilmiş olup harmoniklerin çoğu anahtarlama frekansı etrafında toplanmıştır. Gerilim THB değerleri yüksek olsa da RL yükü ve asenkron motorun endüktif yapısı nedeniyle çıkış akımı daha düşük THB'ye sahip olmaktadır. Büyük dereceli harmonikler giriş tarafında kullanılan filtre ile bastırılarak THB azaltılabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 11. Harmonik spektrumu (a) çıkış gerilimi (b) çıkış akımı

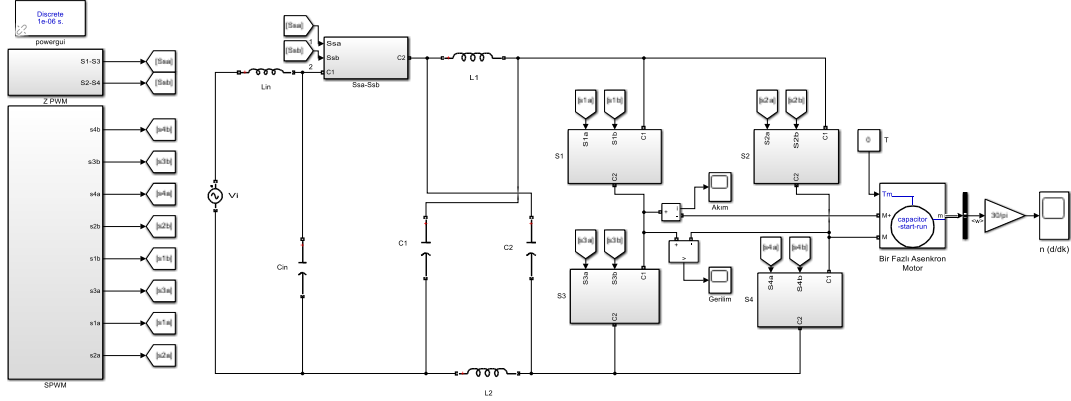
Tablo 3' ten görüldüğü üzere, akım THB<sub>1</sub> değerleri, IEEE tarafında izin verilen %5 değerinin üzerindedir. Kapalı çevrim akım kontrolü yapılarak, THB değerleri daha da düşürülebilmektedir (Zin, M. F. M., Idris, A., Seroji, M. N. ve Hamzah, N., 2012).

Tablo 3. Farklı frekanslar için THB değerleri

Giriş Frekansı	Çıkış Frekansı	THB <sub>V</sub> (%)	THB <sub>I</sub> (%)
50 Hz	25 Hz	32.48	15.18
	50 Hz	9.42	5.92
	100 Hz	27.94	14.26

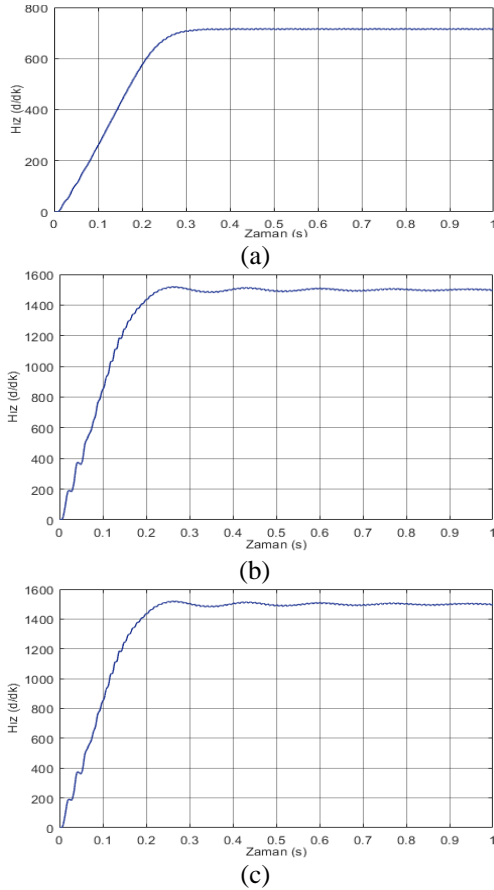
Şekil 12'de görüldüğü gibi, Z-kaynak matris dönüştürücü tek fazlı asenkron motora uygulanmıştır.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1233654



Şekil 12. Tek fazlı asenkron motora uygulanan Z-kaynak matris dönüştürücü simulink modeli

25 Hz, 50 Hz ve 100 Hz çıkış frekansları için, motor hız grafikleri elde edilerek, sırasıyla Şekil 13 (a), (b) ve (c)' de verilmiştir.



Şekil 13. Asenkron motor hız grafikleri (a) 25 Hz, (b) 50 Hz, (c) 100 Hz çıkış frekansları için

Asenkron motorun hız ifadesi,

$$n = \frac{60 * f}{P} \quad (5)$$

şeklinde olup, frekansla doğru orantılı olarak arttığından, frekans değiştiğinde hız da aynı oranda değişmektedir.

Şekil 13'te verilen hız grafiklerine bakıldığında, dönüştürücü çıkış frekansına bağlı olarak, motor hızının da kademeli olarak arttığı görülmektedir.

## SONUÇ

Doğrudan AA-AA dönüşüm sağlayan tek fazlı Z-kaynak matris dönüştürücü devresi, Matlab/simulink ortamında modellenerek simülasyonu yapılmıştır. Bu dönüştürücü, kademeli frekanslı çıkış gerilimi üretebilmektedir. Elde edilen çıkış geriliminin frekansı, giriş frekansının bir tamsayı katı veya bir tamsayı kesri şeklinde olabilmektedir.

Devrede hem RL yükü hem de tek fazlı asenkron motor kullanılmış olup, 25 Hz, 50 Hz ve 100 Hz olmak üzere üç farklı frekans için elde edilen gerilim ve akım dalga şekilleri ve motor hızı grafikleri verilmiştir.

Ayrıca, tam sinüzoidal formda olmayan dönüştürücü çıkış akımı ve geriliminin harmonik spektrumları incelenerek, THB değerleri verilmiştir.

Fanlar, buzdolapları, mikserler gibi tek fazlı asenkron motor uygulamalarının çoğu, hız değişimi için kademeli frekans gerektirmektedir. Bu tür uygulamalarda, Z-kaynak matris dönüştürücü, tek

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1233654

fazlı asenkron motorun farklı hız değerlerinde çalışmasını sağlamak için kullanılabilir. Z-kaynak matris dönüştürücü devresi, DA link enerji depolama kondansatörü olmaması nedeniyle, dolaylı bir AA-AA dönüştürücü ile karşılaştırıldığında, maliyet ve boyutta önemli bir azalma sağlamaktadır. Ancak matris çevirici devresinde kullanılan çift yönlü anahtarlar tek bir ünite olarak bulunmayıp, her biri iki yarı iletken anahtar ile oluşturulduğundan dolayı, toplam anahtar sayısı fazladır. Bu durum, küçük güç uygulamalarında ekonomik olmamaktadır.

Z-kaynak matris dönüştürücü devresi, DA link enerji depolama kondansatörü olmaması nedeniyle, dolaylı bir AA-AA dönüştürücü ile karşılaştırıldığında, maliyet ve boyutta önemli bir azalma sağlamaktadır. Ancak matris çevirici devresinde kullanılan çift yönlü anahtarlar tek bir ünite olarak bulunmayıp, her biri iki yarı iletken anahtar ile oluşturulduğundan dolayı, toplam anahtar sayısı fazladır. Bu durum, küçük güç uygulamalarında ekonomik olmamaktadır.

### 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.

### KAYNAKÇA

Alesina, A. ve Venturini, M. G. (1989). Analysis and design of optimum-amplitude nine-switch direct AC-AC converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 4(1), 101-112.

Belousov, A. S., Meshcheryakov, V. N., Valtchev, S., ve Kryukov, O. V. (2021). Start and Reverse of Single-phase and Two-phase Induction Motors. 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA) pp. 1135-1140.

Fang, X. ve Liu, J. (2012). Single-Phase Voltage-Fed Z-Source Matrix Converter. *Journal of International Conference on Electrical Machines and Systems* 1(2), pp. 46-52.

Mousavi, S. M. J., Babaei, E., Alizadeh, D. ve Komurcugil, H. (2021). Single-phase AC-AC Z-source converter based on asymmetrical gamma structure with continuous input current and safe commutation strategy. *IET Power Electronics*, 14(3), 680-689.

Hosseini, S. H. ve Babaei, E. (2001). A new generalized direct matrix converter. 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings Vol. 2, pp. 1071-1076.

Idris, Z., Hamzah, M. K. ve Saidon, M. F. (2006). Implementation of single-phase matrix converter as a direct ac-ac converter with commutation strategies. 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1-7.

Khoei, A. ve Yuvarajan, S. (1988). Single-phase AC-AC converters using power MOSFETs. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 35(3), 442-443.

Nguyen, M. K., Jung, Y. G., Lim, Y. C. ve Kim, Y. M. (2009). A single-phase Z-source buck-boost matrix converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25(2), 453-462.

Pelly, B. R. ve Gyugyi, L. (1976). *Static Power Frequency Changers Theory, Performance ve Application* John Wiley ve Sons.

Rahman, A. (2019). Realization of single phase matrix converter using 4 controlled switches. *International Journal of Engineering, Applied and Management Sciences Paradigms*, 54(7), 1-4.

Endiz, M. S. ve Akkkaya, R. (2020). A Novel Single Phase Modified Quasi-Z-Source Inverter Circuit Design and Analysis. 2020 24th International Conference Electronics (pp. 1-6).

Aleem, Z., Yang, H. K., Ahmed, H. F., Winberg, S. L. ve Park, J. W. (2020). A class of single-phase Z-source AC-AC converters with magnetic coupling and safe-commutation strategy. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(9), 8104-8115.

Hasan Babayi Nozadian, M., Babaei, E., Hosseini, S. H. ve Shokati Asl, E. (2019). Switched Z-source networks: a review. *IET Power Electronics*, 12(7), 1616-1633.

Flaxer, E. (2022). Principles, design and implementation of a direct AC-to-AC power converter—Regulated electronic transformer. *Review of Scientific Instruments*, 93(11), 114710.

Zin, M. F. M., Idris, A., Seroji, M. N. ve Hamzah, N. (2012). AC-AC single phase matrix converter with harmonic filter and boost characteristics: A study. 2012 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD) pp. 166-171.

Zuckerberger, A., Weinstock, D. ve Alexandrovitz, A. (1997). Single-phase matrix converter. *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, 144(4), 235-240.






## Çimento Hamuruyla Kaplanmış Pomza Agregalarının Su Emme ve Darbe Dayanımı Performanslarının İncelenmesi

Alper Tunga Özgüler<sup>1,2\*</sup>, Turgay Göncüoğlu<sup>2</sup>, Mehmet Emiroğlu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İnönü Üniversitesi, İnönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Malatya, Türkiye

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı, Düzce, Türkiye

<sup>3</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

\* alpertunga.ozguler@inonu.edu.tr , turgay\_goncuglu@hotmail.com , mehmetemiroglu@sakarya.edu.tr   
Makale gönderme tarihi:05.02.2023, Makale kabul tarihi:25.05.2023

### Öz

Ülkemizde yüksek rezerve sahip olan pomza agregası hafif beton üretiminde kullanılmakta fakat düşük mekanik özelliklerinden dolayı taşıyıcı hafif beton olarak pek tercih edilmemektedir. Mekanik özellikleri düşük olan pomza agregaları yüzeylerinde kaplama yapılarak mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu sayede kaplanmış pomza agregaları taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılması sağlanabilmektedir. Yapılan bu çalışmada, Kayseri ve Ahlat pomza agregalarının çimento hamuru ile kaplanma potansiyelleri araştırılmıştır. Kaplamada kullanılan 0.55-0.50 su/çimento oranına sahip katkısız ve 0.35-0.30 su/çimento ile %1.5 oranında akışkanlaştırıcı katkı karışımına sahip çimento hamurlarının taze haldeki yayılma çapları, marsh hunisi akış süreleri ve sonrasında 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde, optik mikroskop yardımıyla kaplama etkinlikleri araştırılmış, 28 günlük kür sonunda agrega darbe dayanımı değerleri, su emme oranları, birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş ve kaplanmamış agregalarla karşılaştırmaları yapılmıştır. Kaplama sonrası Ahlat ve Kayseri pomza agregalarına darbe dayanımı sonucuna göre sırasıyla %11 ve %18 civarında daha az ufalandığı ve su emme oranlarında ise sırasıyla %50.49 ve %78.32 oranında azalma görüldüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, kaplanmış pomza agregalarının su emme oranlarında azalmalar meydana gelmiş ve darbe direnci değerlerinde ise kaplanmamış pomzalara göre artış göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hafif agregalı beton, kaplanmış agrega, pomza

## Investigation of Impact Value and Water Absorption Performance on Pumice Aggregates Coated with Cement Paste

### Abstract

Pumice aggregate, which has high reserves in our country, is used in the production of lightweight concrete, however, it is not preferred as a structural lightweight concrete since its low mechanical properties. The mechanical properties of pumice aggregates can be improved by coating their surfaces. In this way, the coated pumice aggregates can be used to produce lightweight concrete. This study investigated the coating potential of Kayseri and Ahlat pumice aggregates with cement paste. The flow diameter, marsh funnel, and 28-day flexural and compressive strength values of the cement paste 0.55-0.50 w/b ratio and 0.35-0.30 w/b ratio with 1.5% plasticizer admixture were determined. At the end of 28-day curing, the Coating effectiveness of the produced samples was investigated via optical microscope, aggregate impact value, water absorption, and unit weights, and comparisons were made with uncoated aggregates. After coating, it was determined that Ahlat and Kayseri pumice aggregates were crushed by 11% and 18%, considering the impact strength result, moreover a decrease in water absorption was obtained by 50.49% and 78.32%, respectively. As a result, the water absorption values of the coated pumice aggregates decreased, and the aggregate impact values increased compared to the uncoated pumice aggregates.

**Keywords:** Pumice, lightweight aggregate concrete, coated aggregate

## GİRİŞ

Beton bileşeninin yaklaşık %75'ini oluşturan agregalar beton özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Erdoğan, 2003). Dolayısıyla beton üretiminde kullanılacak agregaların mekanik özelliklerinin iyi olması taze ve sertleşmiş betonların mekanik özelliklerini iyileştirecektir. Hafif agregalar, TS EN 206 ve TS 13055-2016 standartlarına göre, tane yoğunluğu  $2000\text{kg/m}^3$ 'ü veya gevşek yığın yoğunluğu  $1200\text{kg/m}^3$ 'ü aşmayan mineral kökenli agregalar olarak tanımlanmıştır. Hafif agregalar yapısı itibarıyla yüksek poroziteye sahiplerdir ve bu sebepten normal agregalara göre mekanik özellikleri düşüktür. Bu agregalar hafif beton üretiminde kullanılırlar. Hafif beton üretimi üç metotla gerçekleştirilebilir. Bunlar; beton içerisinde ince agrega alınarak, doğal veya yapay hafif agregayla veya kimyasal katkıları kullanılarak üretilebilir.

Volkanik faaliyetler sonucu oluşan pomza silikat esaslı, bir birinden bağımsız boşluklu yapıya sahip bir kayadır. Fakat oluştuğu bölgeye ve iklim koşullarına göre bazı özellikleri değişebilmektedir. Asidik ve bazik olarak doğada bulunan pomzalar yoğunlukları  $0.5-2\text{gr/cm}^3$  civarında ve Mohs cetveline göre 5-6 sertliğindedir. Yüksek miktarda silisyum bulunan pomzalarda ayrıca alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) magnezyum oksit ( $\text{MgO}$ ), sodyum ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ve potasyum ( $\text{K}_2$ ) gibi kimyasal bileşenleri içermektedir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü[MTA], 2019). Başta inşaat sektörü olmak üzere tekstil, tarım, kimya gibi sektörlerinde kullanılmaktadır. Tekstil alanında genellikle kot kumaşların ağartılmasında ve inceltmesinde, bazik pomzanın tekstil boyalarının süzülmesinde kullanılmıştır. (Yazıcıoğlu vd., 2003; Kul vd., 2017). Pomzanın gözenekli yapısından dolayı içme sularının filtrelenmesinde kullanılmıştır.(Kılınç Aksay vd., 2016). Pomzanın nemi tutması ve gözenekli olmasında dolayı da bitki gelişimlerine katkı sağladığı görülmüştür (Sahin vd., 2005). Toz haline getirilen pomzalar seramik yüzeylerin kaplanmasında kullanılmıştır (Bayer vd., 2023; Bayer Ozturk vd., 2014). İnşaat sektöründe; hafif beton imalatında, bims blok yapımında, sıva ve harç kumu olarak, dolgu agregası olarak ve izolasyon dolgusu gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır.

Betonarme bir yapıda sabit yüklerin azaltılması istenir bu da betonun birim hacim ağırlığını düşürmekle mümkün olabilmektedir. Hafif beton kullanımı ile sabit yükler azaltılacağından

taşıyıcı yapı elemanların boyutlarında küçülmeler ve kullanılacak donatıları azaltılarak ekonomik fayda sağlamaktadır (Cavaleri ve Miraglia, 2003; Akyüncü, 2019).

Dünyada ve ülkemizde çokça bulunan pomza madeni ülkemizde son yıllarda birçok sektörde ham madde ve katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Varol, 2019). Pomza rezervlerinin Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgelerinde yoğun olduğu bilinmektedir (MTA,2022). Pomza agregası boşluklu yapıya sahip olup bulundurduğu boşluk oranı %70'leri bulmaktadır(Varol, 2016). Pomza asidik ve bazik yapıya sahiptir. Asidik yapıya sahip pomza da silis oranı yüksek olup, inşaat sektöründe, bazik yapıya sahip pomza agregalarında ise demir, kalsiyum, alüminyum ve magnezyum oranları daha fazla olduğu için endüstriyel alanlarda daha çok kullanılmaktadır. Asidik ve bazik yapıya sahip pomza oluşum esnasında ani soğuma ve gazların sahip olduğu yapıdan uzaklaşması sonucunda çok fazla gözenekli yapı mevcuttur (Gündüz, 1998). Boşluklu yapıya sahip olmasından dolayı iyi bir şekilde ısı ve ses yalıtımı sağlaması ve ayrıca taşıyıcı hafif beton imalatında agrega olarak kullanımı nedeniyle pomza agregaları inşaat sektöründe yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Eroğlu ve Şahiner, 2020). Pomza ile üretilen betonların normal betonlara göre yangına karşı daha dayanıklı olduğu, deprem yüklerine karşı elastik davranış gösterdiği ve don olayından da etkilenmediği belirtilmektedir (Elmastaş, 2012). Pomza agregası ile kendiliğinden yerleşen hafif beton imal edileceği iç kürlenme yapmasından dolayı dayanım ve dayanıklılık kayıpları en aza seviyeye düşürüleceği kaydedilmiş, ayrıca betonun hafifliği ve kendiliğinden yerleşebilme özelliğinden dolayı deprem bölgelerindeki yapılarda tercih edilebileceği bildirilmiştir (Gönen ve Yazıcıoğlu, 2010). Yenilikçi bir uygulama olarak bazı çalışmalarda yüksek performans hedefi ile hafif agregalara özel bir kaplama tekniği uygulanarak ince bir çimento tabakası ile kaplanmıştır. Bu sayede agregalar suya karşı geçirimsiz hale getirilmiş, agrega tanelerinin mukavemetinde önemli derecede artış olduğu gözlenmiştir. Kaplamalı agregalara yapılan taze ve sertleşmiş hafif betonun üzerinde yapılan deneyler sonucunda hem işlenebilirlik hem de mukavemetinde önemli ölçüde iyileşme meydana gelmiştir. Kaplama yapılan hafif betonun birim ağırlığı  $2000\text{kg/m}^3$  altında kalırken, 90 MPa'dan daha yüksek basınç dayanıma sahip beton üretilebileceği gösterilmiştir

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1248073

(Sallı Bideci, 2016). Nevşehir pomza agregası kullanılarak hazırlanan beton örnekleri üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde asidik pomzanın yüksek dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılacağı görülmüştür. Yapılarda taşıyıcılara daha az yük uygulayacağı bu nedenle depreme karşı daha dayanıklı olacağı tespit edilmiştir (Tolğay, 2004). Ahlat pomzası ile yapılan bir çalışmada 11 farklı içerikte beton üretilmiştir. Üretilen betonlar kontrol betonuyla karşılaştırılmış olumlu ve olumsuz sonuçları ortaya konulmuştur. Pomza ve genişletilmiş polistren köpük kullanılarak üretilen betonların birim ağırlıklarında düşüş olduğu basınç dayanımı, su emme ve yüksek sıcaklık karşısında olumsuzluklar olduğu tespit edilmiştir. Bu olumsuzlukları gidermek için yüksek dozajlı çimento içeren hafif beton imalatları yapılarak daha olumlu sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir (Demirtaş, 2019). Son zamanlarda yapılan çalışmalar farklı malzemeler kullanılarak agregaların kaplanabilirliğini göstermektedir. Sallı Bideci vd. (2014), yapmış olduğu çalışmada pomza agregasını polimerlerle kaplamıştır ve agregaların su emme oranları, 4–8 mm göz açıklığına sahip agregalarda kontrol agregalarına göre, %76-%95 oranında ve 8–16 mm göz açıklığına sahip agregalarda ise %76-%85 oranlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Bideci vd. (2017), çalışmada kolemanitin çimento belirli oranlarda karıştırılarak pomza agregasını kaplamıştır. 8-16 mm çapındaki kaplanmış pomza agregaların su emme oranlarının kaplanmamış agregaya göre %42 ile %50 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca kaplanmamış ve kaplanmış agregalara darbe katsayısı (impact value) deneyi uygulamış, burada da agrega darbe katsayısı ufalanma yüzdelerinde %3 ile %22 arasında azalmalar olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Kayseri ve Ahlat bölgesinden alınan pomzaların yüzeyleri çimento hamuru ile

kaplanmıştır. Üretilen kaplanmış pomza agregaların su emme ve darbe direnci değerleri tespit edilerek kaplanmamış pomza agregaları ile karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Tüm serilerde 8-16 mm boyutundaki Kayseri ve Ahlat yörelerinden temin edilen asidik pomza agregası kullanılmıştır. Pomza agregaların kaplanmasında Seza Çimento fabrikasına ait CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bazı serilerde kullanılan yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı beton katkısı Sika firmasına ait ViscoCrete Hi-Tech 51 temin edilerek kullanılmıştır. Çimento hamurunda karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

### Metot

Yapılan çalışmalarda, farklı su/çimento (S/Ç) oranlarına sahip çimento hamuru kullanılarak agregaların kaplanabilirliği incelenmiştir. Bazı kaplamalarda ise yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılarak çimento hamurunun akıcı kıvamda olması sağlanmış agregaların kaplanabilirliği artırılmıştır. S/Ç oranı azaltılarak kaplanan agregaların mekanik özelliklerinin artırılması ve su emme oranlarının azaltılması hedeflenmiştir.

Pomza agregalarının kaplanmasında farklı su/çimento oranlarına sahip çimento hamuru ile elde edilen 0,55-0,50 su/çimento oranına sahip katkısız ve 0,35-0,30 su/çimento oranı ile düşük su/ bağlayıcı oranlarında kıvamın sağlanması amacıyla bağlayıcı kütlelerinin %1,5 oranında akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak oluşturulan çimento hamurları elde edilmiştir. Karışımlara karşılık gelen oranlar ve kodlamalar Tablo 1’de belirtilmiştir. Çimento hamurları Tablo 2’de belirtilen oranlarda hazırlanmıştır. Döner bir tambur içine konulan agregaların yüzeylerine çimento hamuru fasarit tabancası yardımı ile püskürterek kaplanmıştır.

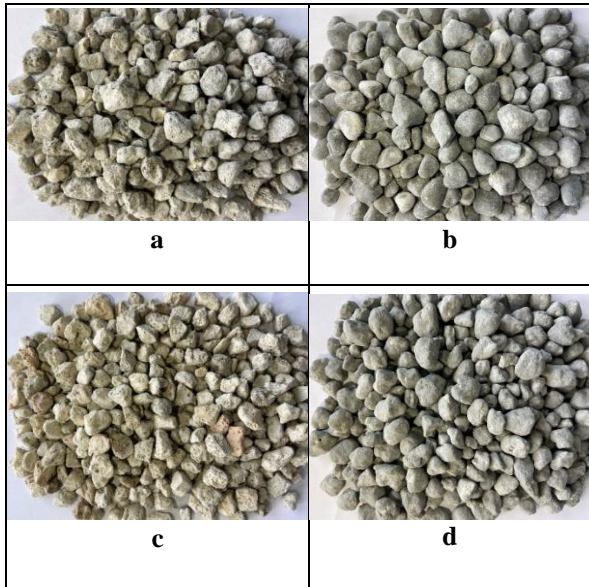
**Tablo 1. Karışıma karşılık gelen oranlar ve kodlamalar**

Ahlat Pomzası		Kayseri Pomzası	
A-R	: Kaplanmamış pomza agregası (referans)	K-R	: Kaplanmamış pomza agregası (referans)
ACA-0.55-0	: 0.55 S/Ç oranı + %0 Süperakışkanlaştırıcı	K-0.55-0	: 0.55 S/Ç oranı + %0 Süperakışkanlaştırıcı
ACA-0.50-0	: 0.50 S/Ç oranı + %0 Süperakışkanlaştırıcı	K-0.50-0	: 0.50 S/Ç oranı + %0 Süperakışkanlaştırıcı
ACA-0.35-1.5	: 0.35 S/Ç S/Ç oranı + %1.5 Süperakışkanlaştırıcı	K-0.35-1.5	: 0.35 S/Ç S/Ç oranı + %1.5 Süperakışkanlaştırıcı
ACA-0.30-1.5	: 0.30 S/Ç S/Ç oranı + %1.5 Süperakışkanlaştırıcı	K-0.30-1.5	: 0.30 S/Ç S/Ç oranı + %1.5 Süperakışkanlaştırıcı

**Tablo 2.** Agregaların kaplanmasında kullanılan çimento hamurlarının karışım oranları (1 Litre)

Numune kodu	Çimento miktarı (g)	Su (g)	Su/çimento Oranı	Akışkanlaştırıcı (g)
ACA-0.55	1294	711.7	0.55	0
ACA-0.50	1294	647.2	0.50	0
ACA-0.35-1.5	1294	453.0	0.35	19.4
ACA-0.30-1.5	1294	388.3	0.30	19.4
KCA-0.55	1264	711.7	0.55	0
KCA-0.50	1294	647.2	0.50	0
KCA-0.35-1.5	1294	453.0	0.35	19.4
KCA-0.30-1.5	1294	388.3	0.30	19.4

Ahlat ve Kayseri yörelerine ait kaplanmamış ve kaplanmış pomza agregalarına ait resimler Şekil 1 (a), (b), (c), (d)'de verilmiştir.



**Şekil 1.** a) Kaplanmamış Ahlat pomzası, b) Kaplanmış Ahlat pomzası c) Kaplanmamış Kayseri pomzası, d) Kaplanmış Kayseri pomzası

### Deneyleler

Agregaların kaplanmasında kullanılan çimento hamurlarının akıcı kıvamda olması agregaların kaplanabilirliğini artırdığı görülmüştür. Bu bağlamda kaplamada kullanılan çimento hamurlarının özelliklerini tespit etmek amacıyla marsh hunisi akış süresi ve yayılma çapları ile viskozite özelliklerini tespit edilmiştir.

Pomza agregaları bir tambur içe bırakılıp fasarit tabancasıyla çimento hamurun püskürtülmesi ile kaplama gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Pomza agregalarının kaplanması

Agrega darbe dayanımı deneyi BS 812-112 (1990) standardına uygun olarak yapılmıştır. Agregada darbe dayanım deneyi, agreganın darbeye karşı mukavemetini öğrenmek amacıyla agregada darbe değeri deney cihazı ile tespit edilmiştir. 28 gün kür tankında bekletilen kaplanmış agregalar ve kaplanmamış pomza agregası etüv kurusu haline getirilmiştir ve 14 mm elekten geçip 10 mm elek üstünde kalan agregalar alınıp deneyde kullanılmıştır. Darbe sonucunda oluşan agregalar 2,36 mm elekten elenerek agregada darbe dayanımı değerleri tespit edilmiştir.

Agregaların su emme deneyi TS EN 1097-6 (2016) standardına uygun olarak yapılmıştır. Tamamen kuru hale getirmek için, sabit ağırlığa gelinceye kadar, 50°C'lik etüvde bekletilen pomza agregalar bir miktar alınarak tartılmıştır. Etüv kurusu halde alınan bir miktar agregada tel sepetlerin içerisine konularak sırasıyla 10dk., 20dk., 30dk., 60dk., 120dk. ve 1440dk. süreyle önce kür tankında su içerisinde bekletilmiş daha sonra kuru bez yardımıyla agregalar üzerindeki su tabakaları alınarak doymuş kuru yüzey



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1248073

haline getirilmiş ve tartımları yapılarak su emme oranları belirlenmiştir.

TS EN 196-1 (2016) standardına göre çimento hamuru basınç ve eğilme dayanımı tayin edilmiştir. Eğilme dayanımı tespitinde 40x40x160mm'lik prizma numuneler ve basınç dayanımı için ise eğilme dayanımı sonucu ikiye ayrılan parçalar üzerinden 40x40mm'lik yüzeylerden kullanılmıştır.

## BULGULAR

Bu çalışmada, pomza agregalarını kaplamak üzere kullanılan çimento hamurlarının bazı fiziksel özellikleri tespit edilmiş olup yayılma çapları ve marsh hunisi akış sürelerinin yanı sıra agrega kaplamalarında kullanılan çimento hamurlarının 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kaplamada kullanılan çimento hamuruna ait taze ve sertleşmiş haldeki özellikler

Su/Çimento oranı	Akışkanlaştırıcı Oranı (%)	Marsh Hunisi akış Süresi (s)	Yayılma çapı (mm)	Çimento Hamuru Eğilme Dayanımı (MPa)	Çimento Hamuru Basınç Dayanımı (MPa)
0.55	0.0	43	293	3.56	33.17
0.50	0.0	58	254	3.57	42.48
0.35	1.5	148	546	3.67	66.33
0.30	1.5	345	539	4.08	77.46

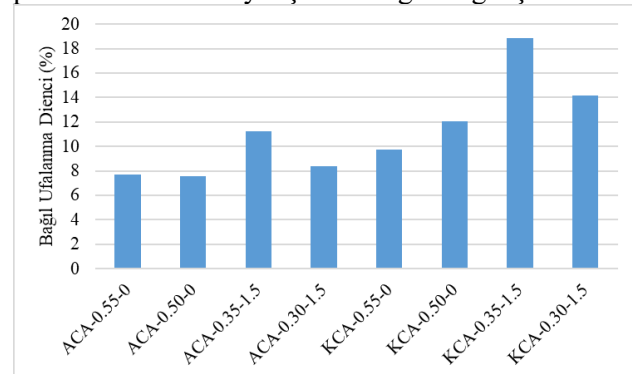
Çimento hamuruna ait özelliklerin sunulduğu Tablo 3 incelendiğinde, beklendiği üzere akışkanlaştırıcı kullanılmayan serilerde su/çimento oranı arttıkça marsh hunisi akış sürelerinin azaldığı ve yayılma çapı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Benzer durum %1,5 akışkanlaştırıcı kullanılan serilerde de gözlemlenmiştir. Agrega kaplamalarında kullanılan çimento hamurlarının 28 günlük eğilme dayanımı ve basınç dayanımları da Tablo 3'de verilmiştir.

Akışkanlaştırıcı kullanılmayan serilerde su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımları azalmış, %1.5 akışkanlaştırıcı kullanılan serilerde ise benzer şekilde su/çimento oranının arttıkça basınç dayanımında azalmalar gözlemlenmiştir.

Kaplanan agregaların 28 günlük kür sonunda, kaplanan Ahlat ve Kayseri pomzalarının darbe değerleri ufalanma yüzdeleri ve su emme oranları incelenmiştir.

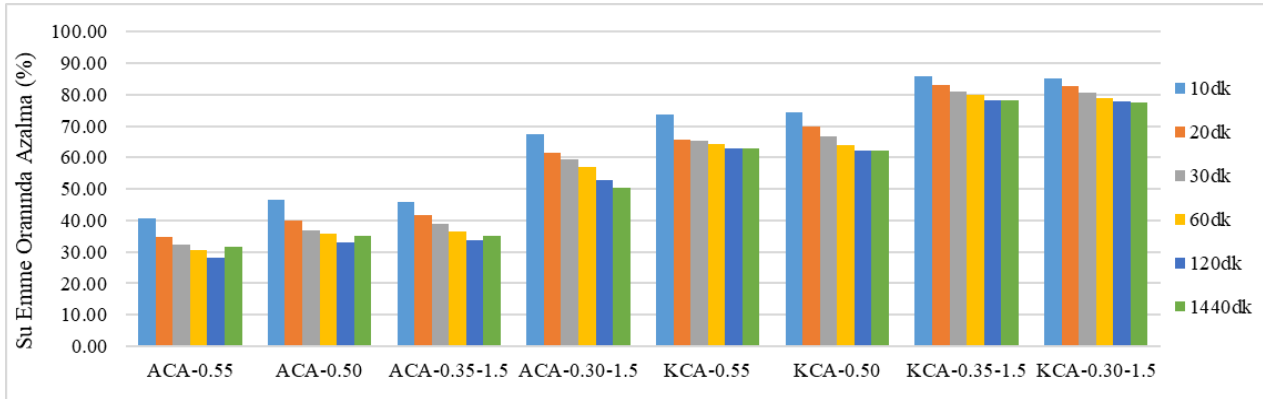
8-16 mm kaplanmamış Ahlat pomza agregaların kaplanmış Ahlat pomza agregalara göre darbe değerlerinin ufalanma yüzdeleri incelendiğinde (Şekil 3), kaplanmış pomza agregalarından ACA-0.55 numunesinin %7.69, ACA-0.50 numunesinin %7.54, ACA-0.35-1.5 numunesinin %11.25 ve ACA-0.30-1.5 numunesinin ise %9.36 oranında kaplanmamış pomza agregalarına göre daha az ufalanma meydana geldiği görülmüştür. 8-16 mm kaplanmamış Kayseri pomza agregaların kaplanmış

Kayseri pomza agregalara göre darbe değerlerinin ufalanma yüzdeleri incelendiğinde, kaplanmış pomza agregalarından KCA-0.55-0 numunesinin %9.73, KCA-0.50-0 numunesinin %12.04, KCA-0.35-1.5 numunesinin %18.84 ve KCA-0.30-1.5 numunesinin ise %14.18 oranında kaplanmamış Kayseri pomza agregalarına göre daha az ufalanma meydana geldiği görülmüştür. Kaplanmış pomza agregaların, kaplanmamış pomza agregalarına oranla darbe dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Burada kaplamanın performansı açısından çimento hamurunun fiziksel ve mekanik özellikleri dışında kaplama metodunun etkinliğide ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Ancak tüm sonuçlar incelendiğinde pomza agregalarının kaplanması durumunda performanslarında iyileşmeler sağlandığı açıktır.



**Şekil 3.** Agregaların Darbe Sonucu Ufalanma Oranlarındaki Azalma (%)





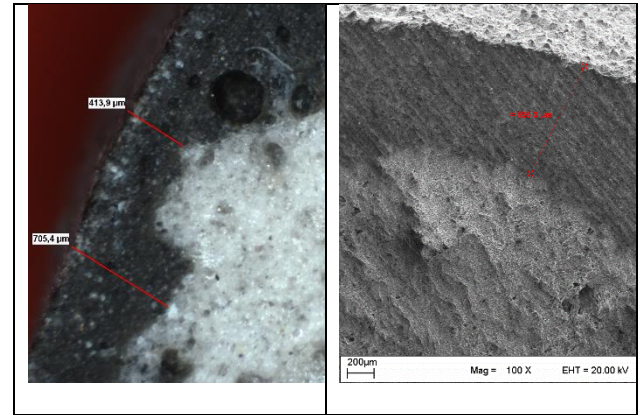
Şekil 4. 8-16mm Kaplanmış Agregası Su Emme Oranlarında Azalma (%)

Şekil 4’de belirtilen 8-16 mm’lik çapa sahip kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaların 10dk ile 1440dk arasınada su emme oranları incelenmiştir. Buna göre 8/16 mm göz açıklığına sahip kaplanmamış Ahlat pomzası agregalarının su emme oranlarının %30.70 olduğu görülmüştür. 8-16 mm kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre su emme değerleri incelendiğinde; ACA-0.55 agregalarında %31.60, ACA-0.50 agregalarında %35.08, ACA-0.35-1.5 agregalarında %35.08 ve ACA-0.30-1.5 agregalarında %50.49 oranında daha az su emdiği belirlenmiştir. 8/16 mm göz açıklığına sahip kaplanmamış Kayseri pomzası agregalarının su emme oranlarının %65.50 olduğu görülmüştür. 8-16 mm kaplanmamış Kayseri pomza agregaların kaplanmış Kayseri pomza agregalarına göre su emme yüzde değerleri incelendiğinde; KCA-0.55-0 agregalarında %62.90, KCA-0.50-0 agregalarında %62.29, KCA-0.35-1.5 agregalarında %78.32 ve KCA-0.30-1.5 agregalarında %77.56 oranında daha az su emdiği belirlenmiştir. Şekil 4’da Ahlat ve Kayseri pomza agregaları çimento hamuru ile kaplandıklarında sonra su emme oranlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar benzer çalışmalarla kıyaslandığında paralellik gösterdiği görülmektedir. Bideci vd. (2017), kolemanitin çimento ile belirli oranlarda ikame edilmesiyle elde edilen çimento hamuru ile 8-16 mm çaplı pomza agregalarını kaplanmışlardır. Kaplama sonunda, %42 ile %50 su emme oranlarında azalmaların olduğunu, agregaların darbe sonucu ufalanma oranlarında ise %3 ile %22 arasında azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, Sallı Bideci, vd. (2014), 8-16 mm çaplı pomza agregalarını polimerlerle kaplamışlar ve su emme oranlarında

%76 ile %85 arasında azalmaların olduğunu ifade etmişlerdir.

Üretilen kaplanmış pomza agregaların kesitleri alınarak, kesitler üzerinde kaplama potansiyelini incelemek ve kaplama kalınlığı ile agrega-kaplama arayüzey özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Nikon SMZ745T marka optik mikroskop yardımıyla x25 ve x35 büyütmelemlerle mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Kaplanmış agregalara ait mikro yapı incelemeleri

Şekil 5’de Kayseri ve Ahlat pomza agregalarının kaplama kalınlığı ve ara yüzey davranışı açıkça görülmektedir. Pomza agregasının dış yüzeyine açık gözeneklerinin püskürtme esnasında çimento hamuru ile dolduğu anlaşılmaktadır. Bu durum bir miktar malzeme zayıflama neden olduğu gözlemlenmiştir. Kaplanmış agregalar üzerinden ortalama bir kalınlıktan alınan ölçümler Ahlat pomza agregasının 552 µm, Kayseri pomza agregasının 1064 µm, civarında bir kalınlık ile kaplanabildiği görülmüştür. Ahlat ve Kayseri pomza agregaları ile çimento hamuru ara yüzeyinin iyi bir

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1248073

aderansa sahip olduğu, boşluk, kusur vb. hataların gözlemlenmediği sonucuna varılmıştır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Ahlat ve Kayseri bölgelerine ait 8-16 mm çaplı, pomza agregalarının katkı kullanılmadan ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak farklı oranlarda çimento hamuru ile kaplanabildiği tespit edilmiştir. Akıcı kıvamda olan çimento hamurları ile daha iyi bir kaplama yapıldığı görülmüştür. Akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak hazırlanan çimento hamurlarında aşınma direncinde iyileşmeler olduğu buna paralel olarak su emme oranlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir. Kaplama için kullanılan çimento hamurlarının mekanik özellikleri incelendiğinde en iyi performansı s/ç oranı 0,30 ve çimento miktarının %1,5'i kadar akışkanlaştırıcı kullanıldığı seriden elde edildiği görülmüştür. Bu serideki çimento hamuruna ait eğilme dayanımı değeri 4,08MPa ve basınç dayanımı değeri 77,46MPa olarak tespit edilmiştir. Kaplanmış pomza agregalarının kaplama kalınlıkları taramalı elektron mikroskopu yardımıyla incelenmiş ve kaplama kalınlıklarının 550 µm ile 1060 µm arasında olduğu görülmüştür. Agregada darbe katsayısı (Impact value) ufalanma yüzdesinin tespiti için yapılan çalışmada kaplanmış Ahlat ve Kayseri pomza agregalarının kaplanmamış Ahlat ve Kayseri pomza agregalarına göre sırasıyla %16 ve %19 civarında daha az ufalandığı görülmüştür. Ufalanma yüzdesinin azalması basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Kaplama sonrası Ahlat ve Kayseri pomza agregalarına 24 saat sonundaki su emme oranlarında sırasıyla %50.49 ve %78.32 oranında azalma görülmüştür.

Çalışmada çimento hamurunun optimum seviyede kullanılması gerektiği, aksi durumda fazla çimento hamuru kullanıldığında agregalar arası yapışmaların olduğu tespit edilmiştir. Bu sayede minimum maliyet ile maksimum fayda elde edilmiş olacaktır. Akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilmiş kaplanmış pomza agregalarının agrega aşınma dayanımı değerlerinde iyileşme görüldüğü belirlenmiştir. Agregada kaplamalarında akışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan çimento hamurundaki su/çimento oranında su miktarı düşürüldüğünde çimento hamurunun kaplama potansiyelinin arttığı görülmüştür. Yapılan kaplamalar ek bir maliyet getirirse bile sağladığı faydalar düşünüldüğünde katma değeri yüksek bir malzeme olacaktır.

## 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

- Akyüncü, V. (2019). Pomza agregali hafif beton bloklarınmekaniözelliklerinin ve yangın etkisi altındaki davranışının incelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 8 (1), s. 147–157.
- Bayer Ozturk Z. ve Eren Gultekin E. (2014). Determination of the effect of the addition of pumice on the technological properties of wall tile using the factorial design method, Advance Ceramic Science Engineering, 3 (1), 1-10, 2014.
- Bayer Ozturk, Z. ve Can, A. (2023). The use of micronized pumice in the production of ceramic sanitaryware glazes with sustainable industrial characteristics, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:3 1967-1977.
- Bideci A., Sallı Bideci Ö, Oymael S., Gültekin A.H. ve Yıldırım H. (2017). Lightweight aggregates coated with colemanite. Computers and Concrete, An International Journal, 19 (5), 451 – 455.
- BS 812-112, (1990). Testing aggregates method for determination of aggregate impact value. British Standard.
- Cavaleri, M. P. ve Miraglia, L. N. (2003). Pumice concrete for structural wall panels, Engineering Structures, 25 (1), 115–125.https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00123-2
- Demirtaş, C. (2019). Bitlis Ahlat pomzası ile üretilen hafif betonların mekanik özelliklerin incelenmesi. Fırat Üniveritesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği. Yüksek Lisans Tezi.
- Elmastaş, N. (2012). Türkiye ekonomisi için önemi giderek artan bir maden: Pomza (sünger taşı). Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5 (23), 197–206.
- Erdoğan, T. Y. (2003). Beton. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
- Eroğlu, G. ve Şahiner M. (2020). Dünyada ve Türkiye’de Pomza. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, s. 32.
- Gönen, T. ve Yazıcıoğlu S. (2010). Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Kür Ortamı ve Agregada Tipinin Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,25 (3), 459–467.
- Gündüz, L. (1998). Pomza teknolojisi, pomza karakterizasyonu. Cilt 1, s. 218, Isparta.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1248073

- Kılınç Aksay E., Cöcen İ. ve Akar A., (2016). Pomzanın su arıtımında filtre malzemesi olarak kullanımındaki gelişmeler, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 36, 63-72.
- Kul A.E., Benek V., Selçuk A. ve Onursal N. (2017). Using natural stone pumice in Van region on adsorption of some textile dyes, Journal of the Turkish Chemical Society A, 4 (2), 525-536.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (2019). Pomza <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>. (Erişim tarihi: 08.09.2022).
- MTA. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, [Http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/turkiyedemadencilik/images/maden\\_yataklari/b\\_h/perlit\\_pomza.jpg](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/turkiyedemadencilik/images/maden_yataklari/b_h/perlit_pomza.jpg) , (Erişim tarihi: 08.09.2022).
- Panuccio M.R., Sorgona A., Rizzo M. ve Cacco G. (2009). Cadmium adsorption on vermiculite, zeolite and pumice: Batch experimental studies, Journal of Environmental Management, 90 (1), 364-374.
- Sahin U., Ors S., Ercisli S., Anapalı O. ve Eşitken A. (2005). Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth, Journal of Central European Agriculture, 6 (3), 361-366.
- Sallı Bideci, Ö, A. Bideci, Gültekin A.H. ve Oymael S. (2014). Polymer coated pumice aggregates and their properties, Composites Part B: Engineering, 67, 239-243.
- Sallı Bideci, Ö. (2016). The effect of high temperature on lightweight concretes produced with colemanite coated pumice aggregates. Construction and Building Materials, 113 (15). 631-640. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.113>
- Tolğay, Y., Yaşar, A., ve Erdoğan, E. (2004). Nevşehir Pomzasının agrega olarak betonda kullanılabilirliğinin araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s. 345–354.
- TS EN 1097-6 (2022). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13055, (2016). Hafif agregalar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Varol, B. (2014). Pomza sektör raporu. Ahiler Kalkınma Ajansı Nevşehir Yatırım Destek Ofisi, “[https://www.ahika.gov.tr/assets/upload/dosyalar/ahika\\_\\_nevsehir-pomza-sektor-raporu.pdf](https://www.ahika.gov.tr/assets/upload/dosyalar/ahika__nevsehir-pomza-sektor-raporu.pdf)”, Nevşehir.
- Varol, O. (2016). Bitlis ve Van illerinde pomza madenciliğine genel bir bakış. Bilim Madencilik Dergisi, 55 (3), 27–34.
- Yazıcıoğlu, S., Arıcı, E. ve Gönen T. (2003). Pomza taşının kullanım alanları ve ekonomiye etkisi, Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 1 , 118-123.




## Toxic Elements from Critical Raw Materials Group in Ripe and Unripe Tomatoes in A Contaminated Area: Accumulation and Potential Health Risk Assessment

Murat Topal<sup>1\*</sup>, E. Işıl Arslan Topal<sup>2</sup>, Erdal Öbek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Munzur University, Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Elazığ, Türkiye

<sup>3</sup>Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Elazığ, Türkiye

\* murattopal@munzur.edu.tr , eiarslan@firat.edu.tr , eobek@firat.edu.tr 

Received date:04.03.2023, Accepted date: 04.05.2023

### Abstract

Accumulation and health risk assessment of cobalt (Co), antimony (Sb), vanadium (V), and lanthanum (La) in tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater were investigated. For this aim, tomatoe samples were taken and sepertaed into root, stem and leaf parts. Co, Sb, V and La concentrations were detected in plant organs. The arrangement of the elements in the root, stem, and leaf of ripe and unripe tomatoes was V>Co>La>Sb. According to total element values in the ripe and unripe tomatoes; the highest values were 23±1.1 mg/kg and 35±1.7 mg/kg for V, respectively. Co, Sb, V, and La values accumulated by ripe and unripe tomatoes were determined as 24.65 and 25.6 times for Co, 1.8 and 2.7 times for Sb, 46 and 70 times for V and 4.4 and 6.15 times for La, respectively when compared with control. Total Co, Sb, V, and La were male<female<child in ripe and unripe tomatoes. Hazard index (HI) values in ripe and unripe tomatoes were male<female<child. The maximum non-carcinogenic (HQ) values in tomatoes were greater in child. Total hazard indexes (THIs) in ripe and unripe tomatoes were 74.23 and 110.66, respectively. HIs and THIs were greater than 1. As a result, tomatoes were found to accumulate Co, Sb, V, and La well, and hence a non-carcinogenic health risk to tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater.

**Keywords:** Accumulation, health risk, non-carcinogenic, tomatoes, wastewater

## Kirlenmiş Bir Alanda Olgun ve Olgunlaşmamış Domateslerdeki Kritik Hammadde Grubundan Toksik Elementler: Birikim ve Potansiyel Sağlık Riski Değerlendirmesi

### Öz

Kentsel atıksularıyla kirlenmiş bir alanda yetişen domateslerde kobalt (Co), antimon (Sb), vanadyum (V) ve lantan (La) birikimi ve sağlık riski değerlendirildi. Bu amaçla, domates numuneleri alındı ve kök, gövde ve yaprak kısımlarına ayırt edildi. Bitki organlarında Co, Sb, V ve La konsantrasyonları tespit edildi. Olgun ve olgunlaşmamış domateslerin kök, gövde ve yaprağındaki elementlerin dizilişi V>Co>La>Sb şeklindeydi. Olgun ve olgunlaşmamış domateslerde toplam element değerlerine göre; en yüksek değerler V için sırasıyla 23±1,1 mg/kg ve 35±1,7 mg/kg idi. Olgun ve olgunlaşmamış domateslerin biriktirdiği Co, Sb, V ve La değerleri kontrolle mukayese edildiğinde sırasıyla Co için 24,65 ve 25,6, Sb için 1,8 ve 2,7, V için 46 ve 70 ve La için 4,4 ve 6,15 kat olarak belirlendi. Olgun ve olgunlaşmamış domateslerde toplam Co, Sb, V ve La erkek<kadın<çocuk olmuştur. Olgun ve olgunlaşmamış domateslerde HI değerleri erkek<kadın<çocuk idi. Domateslerde maksimum kanserojen olmayan (HQ) değerler çocuklarda daha fazlaydı. Olgun ve olgunlaşmamış domateslerde toplam tehlike indeksleri (THI'ler) sırasıyla 74,23 ve 110.66 idi. HI'ler ve THI'ler 1'den büyüktü. Sonuç olarak, domateslerin Co, Sb, V ve La' yı iyi şekilde biriktirdiği ve dolayısıyla kentsel atıksu ile kirlenmiş bir alanda büyüyen domatesler için kanserojen olmayan bir sağlık riski oluşturduğu bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** Birikim, sağlık riski, kanserojen olmayan, domates, atıksu



## INTRODUCTION

Raw materials are essential for the development of economies and quality of life (Martins and Castro, 2019). Criticality of many raw materials increases with increasing demand because of growing market of consumer goods (Auerbach et al., 2019). Within EU, raw materials initiative ensures that Europe secures and sustains an affordable supply of critical raw materials (CRMs) which are identified as being of high economic importance and having a risk to their supply (Cusack et al., 2019). European Commission has given the list of CRMs for the EU (Topal et al., 2020). EU published last list on CRMs in 2020. Some of these CRMs have toxic characteristics. Depending on the development of technology, as a result of the widespread use of critical raw materials in many areas recently, their concentrations in the environment have gradually increased. Therefore, they are likely to begin to pose as many or even more threats to human health as many other pollutants. In order to detect potential threats to human health, it is important to investigate the health risk of vegetables grown in areas exposed to wastewater. Wastewater may contain various pollutants such as toxic pollutants that are nonbiodegradable in the ecosystem and can accumulate in the food chain (Ahmad et al., 2015; Topal and Arslan Topal, 2017; Arslan Topal and Elitok, 2018). In the present study, antimony (Sb), cobalt (Co), lanthanum (La), and vanadium (V) that are given in the list of CRMs are investigated because of their toxicity.

Sb occurs in the environment as a result of natural processes and human activity (mining, smelting, and use as a fire retardant) (Guo et al., 2009; Pierart et al., 2015). It is similar to as in toxicity. It is a pollutant of priority interest to the EU and the USEPA. Furthermore, it is a toxic environmental pollutant and has implications for cancer development (Guo et al., 2009). Cobalt, which is considered a CRM, is used in many various industries (Cobalt Institute, 2019; van den Brinck et al., 2020). Global demand for Co is expected to quadruple over the next two decades, particularly because of the demand for lithium-ion batteries and electric vehicles (van den Brinck et al., 2020). Co is toxic in large doses, and Co ions and Co metal are cytotoxic. Furthermore, cobalt metals and salts are genotoxic. Co is accumulated in kidney, heart, pancreas, and liver (Simonsen et al., 2012). La, a member of the

element group called rare earth elements or lanthanides, is relatively common in the earth's crust (D'Haese et al., 2019). La is used in industrial applications (agricultural, iron, ceramics, catalysts, etc.) (Hong et al., 2014; Chevinli et al., 2019; D'Haese et al., 2019). Presence of lanthanum in water brings danger to humans and other species due to the toxicity of it (Chevinli et al., 2019). Vanadium is used in many industries (paint, photographic, glass, electrochemical, chemical, and refining industries) (Ścibiora et al., 2020). It is toxic in excess amounts. Its excessive concentrations may lead to a range of pathologies and cause irreversible damage to different organs and tissues (Ścibior et al., 2020).

Global production of tomatoes exceeds 100 million tons/year. In terms of health of humans, tomatoes are source of nutrients and secondary metabolites, minerals, etc. (Dyshlyuk et al., 2020). Consumption of vegetables and fruits, especially tomatoes, reduces risk of cardiovascular diseases and cancer and hence, has become important component in a healthy diet (Lu et al., 2020). Therefore, both ripe and unripe tomatoes are widely preferred and used by humans as food. Unripe tomatoes are mainly consumed as pickles while pipe ones consumed in dishes as tomato paste, sauce as well as consumed as raw vegetable.

There is no study dealing with accumulations and health risk assessment of cobalt, antimony, vanadium, and lanthanum in the tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater. The main purpose of this study is; (i) accumulation and health risk assessment of cobalt, antimony, vanadium and lanthanum in the tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater were investigated. Because tomatoes are consumed by humans and it is not known whether they pose a health risk (ii) The concentrations of cobalt, antimony, vanadium, and lanthanum in municipal wastewater determined (iii) It was determined whether or not these elements accumulate in the tomatoes (root, stem, leaf). Therefore, our study contains fairly new information that will contribute to the literature.

## MATERIAL AND METHODS

### Study Area and Analysis

Discharge area of a treatment plant collecting and treating the domestic and industrial wastewater of Elazığ province (Turkey) was selected as the study



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1260249

area. This area was chosen because tomatoes are exposed to municipal wastewater. The tomatoes samples (TSs) growing in an area contaminated with municipal wastewater (MW) and MWs were taken from 4 points (n=12). Tomatoes were cleaned with pure water in the laboratory. Then, the organs (root, leaf, and stem) of tomatoes were dried and powdered. The samples are cold-leached with HNO<sub>3</sub> before digested in a hot water bath. Aqua Regia solution of equal parts concentrated HCl (hydrochloric acid), HNO<sub>3</sub> (nitric acid) and DI H<sub>2</sub>O (deionized water) are added. Sample is made up to volume with dilute HCl before filtration. Samples were analyzed by ICP/MS (ICP/MS-Perkin-Elmer ELAN 9000) in a laboratory with ISO 9001:2008 accreditation. pH value was measured by pH Orion SA 720 while EC value was measured by EC Delta OHM. Tomatoes are consumed as food by humans and non-carcinogenic (HQ) effects should be determined since contaminants in tomato pose a risk to human health. Therefore, HQ risks were evaluated by determination of Co, Sb, V, and La in tomatoes. Non-carcinogenic risk (HQ) values were determined as given (Lian et al., 2019):

$$HQ = \frac{CDI}{RFD} \quad (1)$$

$$HQ = \sum_{k=1}^n \frac{CDIk}{RFDk} \quad (2)$$

RFD = reference dose (mg/kg.day). Daily exposure dose (CDI) can be determined as given (USEPA, 2001, 2011).

$$CDI_{dietary} = C_{ripe} \times \frac{I_{intake} \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$CDI_{dietary} = C_{unripe} \times \frac{I_{intake} \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-3} \quad (4)$$

where CDI<sub>dietary</sub>: expression for dietary. C<sub>ripe</sub>: value in ripe tomatoes (mg/kg), C<sub>unripe</sub>: value in unripe tomatoes (mg/kg), EF: exposure frequency

(day/year), I<sub>intake</sub>: intake of tomato (g/day), ED: exposure duration (year), AT: averaged time (day), BW: body weight (kg)

Hazard index (HI) and total hazard index (THI) is calculated as given in equation 5 and 6, respectively (USEPA, 1989):

$$HI = \sum HQ \quad (5)$$

$$THI = \sum HI \quad (6)$$

BCF is ratio of value in tomato and Co, Sb, V, and La values in municipal wastewater. The BCF was follow as:

$$BCF = \frac{C_T}{C_{MW}} \quad (7)$$

where C<sub>T</sub> is Co, Sb, V, and La value in tomatoes and C<sub>MW</sub> is Co, Sb, V, and La value in municipal wastewater. BCFs were follow as (Arnot and Gobas, 2006; Pinto et al., 2019):

$$BCF1 = C_{Troot} / C_{soil} \quad (8)$$

$$BCF2 = C_{Tstem} / C_{soil} \quad (9)$$

$$BCF3 = C_{Tstem} / C_{MW} \quad (10)$$

$$BCF4 = C_{Troot} / C_{MW} \quad (11)$$

$$BCF5 = C_{Tfruit} / C_{soil} \quad (12)$$

where C<sub>Troot</sub>, C<sub>soil</sub>, C<sub>Tstem</sub>, C<sub>Tfruit</sub>, C<sub>MW</sub> are Co, Sb, V, and La values in root, soil, stem, fruit, and municipal wastewater, respectively.

TF (translocation factor): It is the ratio between Co, Sb, V, and La detected in organs (Bonanno et al., 2018).

$$TF1 = C_{Tleaf} / C_{Troot} \quad (13)$$

$$TF2 = C_{Tstem} / C_{Troot} \quad (14)$$

$$TF3 = C_{Tleaf} / C_{Tstem} \quad (15)$$

where C<sub>Tstem</sub>, C<sub>Tleaf</sub>, C<sub>Troot</sub> and are Co, Sb, V, and La value in tomato stems, leaves, and roots, respectively.

**RESULTS AND DISCUSSION**

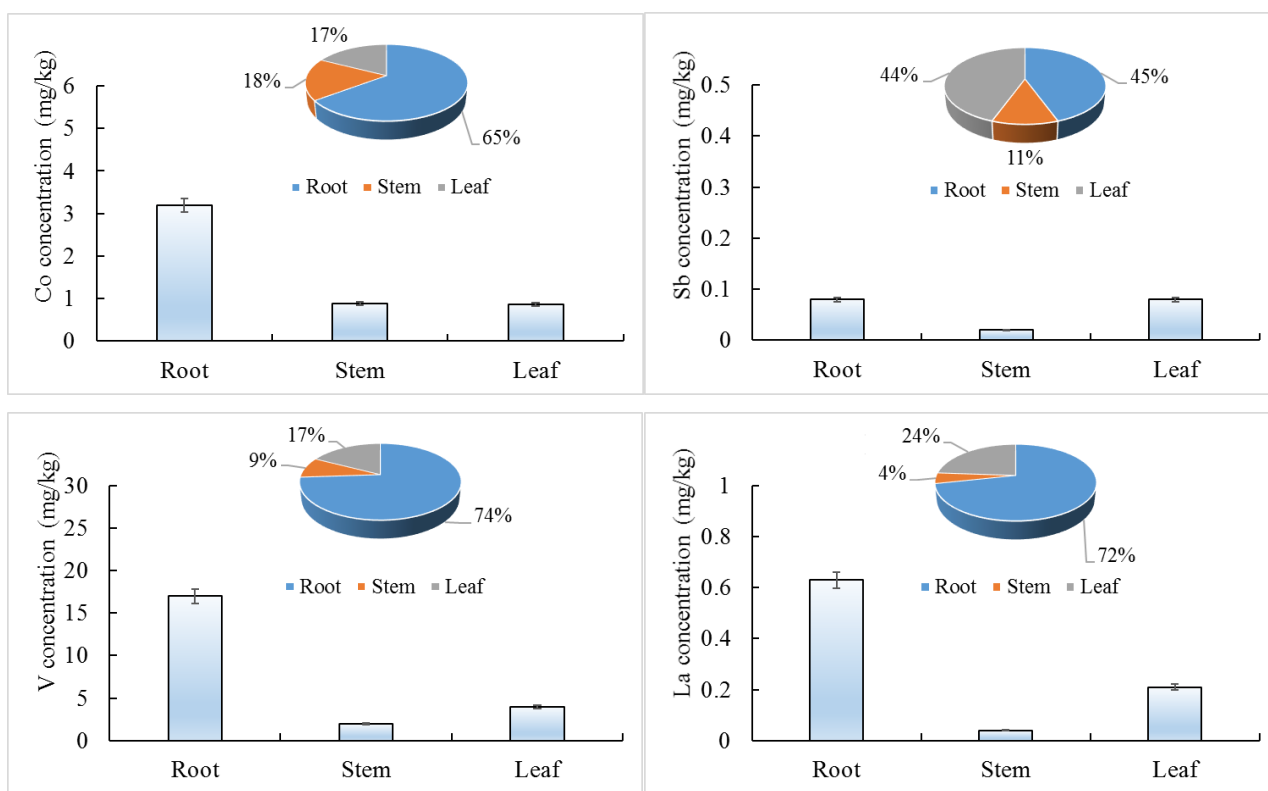
**Determination of Co, Sb, V, and La in wastewaters**

In this study, pH, electrical conductivity (EC), Co, Sb, V, and La values were determined in municipal wastewaters. pH was 7.1-8.2, EC was 1.13-1.19 mS/cm. Co, Sb, La, and V concentrations in municipal wastewater were  $0.26\pm0.02$ ,  $0.38\pm0.02$ ,  $0.02\pm0.01$ , and  $7.2\pm0.4$   $\mu\text{g/L}$ , respectively. The pharmacologic amounts of V are 10 to 100 times greater than normal intake in human beings (Ścibior

et al., 2020). V in urine is estimated to be around 12 % of intake (Sitprija and Eiam-Ong, 1998; Ścibior et al., 2020).

**Assessment of ripe tomatoes**

Co, Sb, V, and La values determined in ripe tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater are shown in Figure 1.



**Figure 1.** Co, Sb, V, and La values in ripe tomatoes

When Co values were examined, highest Co value was  $3.19\pm0.16$  mg/kg in root and minimum Co value was  $0.86\pm0.04$  mg/kg in leaf. Co value in stem was  $0.88\pm0.04$  mg/kg. Co values for ripe tomatoes were leaf<stem<root. Co ratios for root, stem, and leaf in ripe tomatoes were 65%, 18%, and 17%, respectively. The highest Sb was  $0.08\pm0.004$  mg/kg in leaf and root, lowest Sb was  $0.02\pm0.001$  mg/kg in stem. Sb values for ripe tomatoes were stem<root=leaf. Sb ratios for root, stem, and leaf in

ripe tomatoes were 45%, 10%, and 45%, respectively. The highest V value was  $17\pm0.8$  mg/kg in root, lowest V value was  $2.0\pm0.1$  mg/kg in stem. V value in leaf was  $4.0\pm0.2$  mg/kg. V values for ripe tomatoes were stem<leaf<root. V ratios for root, stem, and leaf in ripe tomatoes were 74%, 17%, and 9%, respectively. The highest La was  $0.63\pm0.03$  mg/kg in root, lowest La value was  $0.04\pm0.002$  mg/kg in stem. La value in leaf was  $0.21\pm0.001$  mg/kg. La values for ripe tomatoes were stem<leaf<root. Similarly, Topal et al.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1260249

(2022) reported that values for La were stem<leaf<root in grapevines contaminated with mining effluents. La ratios for root, stem, and leaf in ripe tomatoes were 72%, 4%, and 24%, respectively. The arrangement of the elements in the root, stem, and leaf of ripe tomatoes was V>Co>La>Sb. Different arrangement of the elements was reported by Topal et al. (2022) for grapevines. CRMs values in grapevine roots were Co > V > La > Sb while V > Co > Sb > La in grapevine stems and leaves. According to total element values in the ripe tomatoes; the highest value was 23±1.1 mg/kg for V,

the lowest was 0.18±0.01 mg/kg for Sb. Co, Sb, V, and La in ripe tomatoes were compared with reference values (cobalt:0.2, antimony:0.1, vanadium:0.5 and lanthanum:0.2 mg/kg) given by Markert (1992). Co, Sb, V, and La value accumulated by ripe tomatoes was determined as 24.65 times for Co, 1.8 times for antimony, 46 times for vanadium and 4.4 times for La, respectively. BCF and TF values of Co, Sb, V, and La for ripe tomatoes are given in Table 1.

**Table 1.** BCF and TF values of in ripe tomatoes

	BCF1 (root/soil)	BCF2 (stem/soil)	BCF3 (stem/water)	BCF4 (root/water)	BCF5 (fruit/soil)	TF1 (leaf/root)	TF2 (stem/root)	TF3 (leaf/stem)
Co	0.20	0.06	3.38	12.27	0.02	0.27	0.28	0.98
Sb	0.32	0.08	0.05	0.21	0.08	1.00	0.25	4.00
V	0.14	0.02	0.28	2.36	0.02	0.24	0.12	2.00
La	0.14	0.01	2.00	31.50	0.00	0.33	0.06	5.25

BCFs and TFs are used for determination of hyperaccumulator property of tomato for Co, Sb, V, and La. BCF>1: accumulator and BCF=1: translocation effective (Ma et al., 2001; Gonzaga et al., 2006; Hegazy et al., 2011). BCF1, BCF2, and BCF5 of ripe tomatoes were < 1. This indicates that Co, Sb, V, and La do not accumulate well from the soil to the roots, stems and fruits. BCF3 was >1 for Co and La. This indicates that Co and La accumulate well from wastewater to the stems. BCF4 was >1 for Co, V, and La. This indicates that Co, V, and La accumulate well from wastewater to the roots. The highest TF value was 5.25 for La, while lowest TF

value was 0.06 for La. TF1 values were between 0.24 and 0.21. TF2s were between 0.06 and 0.28. TF3s were between 0.98 and 5.25. Co, V, and La values were <1 for TF1 and Co, Sb, V, and La values were <1 for TF2. Co value was<1 for TF3. Sb, V, and La values were>1 for TF3. TF values greater than 1 indicate a good translocation of Sb, V, and La in ripe tomato organs (stem, leaf, and root). Estimated daily exposure doses (ED) of Co, Sb, V, and La in ripe tomatoes are shown in Table 2.

**Table 2.** Estimated daily exposure doses in ripe tomatoes (mg/kg.day)

	Ripe tomatoes			
	Co	Sb	V	La
Male	2.88E-03	4.80E-04	3.60E-02	2.40E-04
Female	3.26E-03	5.44E-04	4.08E-02	2.72E-04
Children	7.27E-03	1.21E-03	9.09E-02	6.06E-04
<b>Total</b>	1.34E-02	2.23E-03	1.68E-01	1.12E-03

The max. total ED (TED) for humans in ripe tomatoes were calculated as 1.68E-01 mg/kg.day for

V, minimum TED were 1.12E-03 mg/kg.day for La. TED values for humans in ripe tomatoes were

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1260249

La<Sb<Co<V, respectively. Max. ED for male (M), female (F) and child (C) in ripe tomatoes were 3.60E-02, 4.08E-02 and 9.09E-02 mg/kg.day for V, minimum EDs were 2.40E-04, 2.72E-04 and 6.06E-04 mg/kg.day for La, respectively. Total Co, Sb, V, and La values for M, F, and C were as calculated as 3.96E-02, 4.49E-02 and 1.00E-01 mg/kg.day, respectively. Total Co, Sb, V, and La in ripe tomatoes were M<F<C. Non-carcinogenic (HQ) risks for ripe tomatoes are shown in Figure 2.

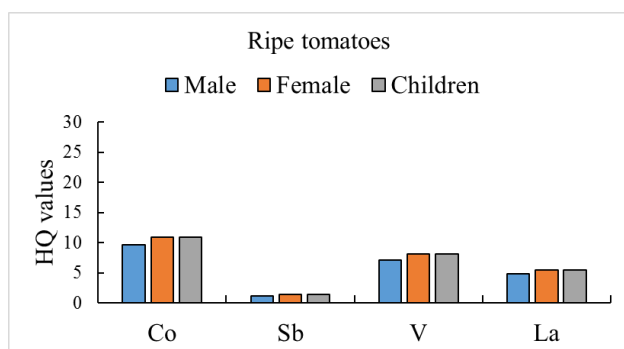


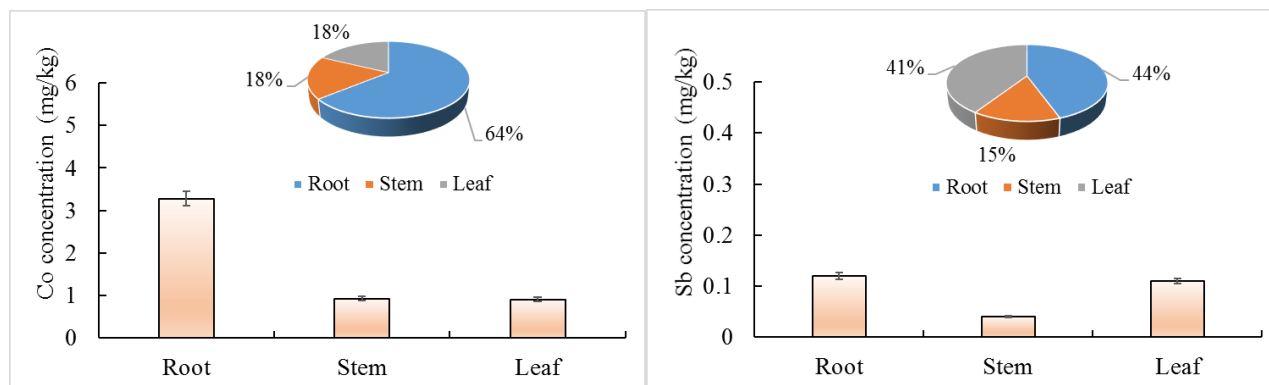
Figure 2. HQ values in ripe tomatoes

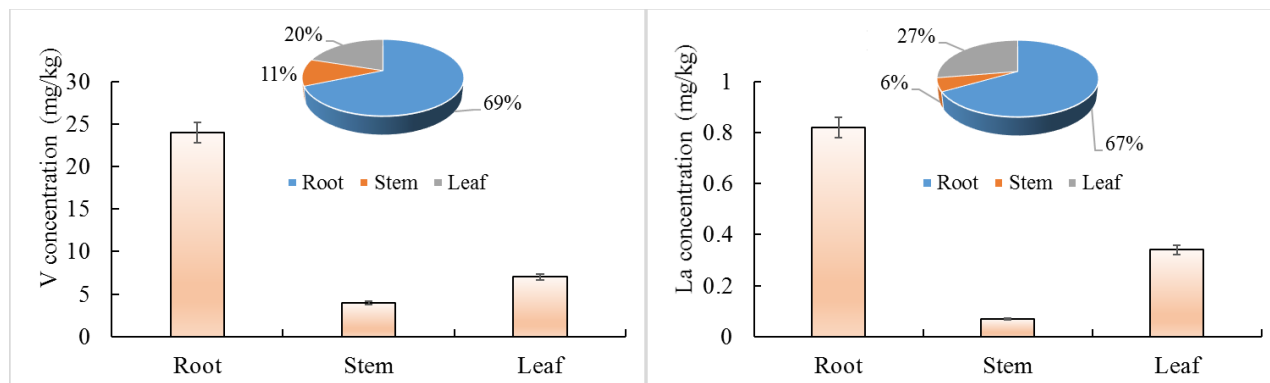
The maximum HQ<sub>die</sub> for male in ripe tomatoes was observed as 9.59 for Co, while minimum HQ<sub>die</sub> was 1.20 for Sb. When the HQ<sub>die</sub> for female in ripe tomatoes were examined, maximum HQ<sub>die</sub> was 10.87 for Co, while minimum HQ<sub>die</sub> was 1.36 for Sb. When

the HQ<sub>die</sub> for children in ripe tomatoes were examined, maximum HQ<sub>die</sub> was 10.88 for Co and minimum HQ<sub>die</sub> was 1.37 for Sb. HQ<sub>die</sub> values for C, F, and M for ripe tomatoes were Sb<La<V<Co. HQ<sub>die</sub> values for M, F, and C in ripe tomatoes were >10.0 for Co, V and La showing chronic toxic effect by dietary (Wei and Cen, 2020). HQ<sub>die</sub> values of Co, Sb, V, and La were > 1 for M, F, and C (except M and F for Sb). Non-carcinogenic value greater than 1 is demonstration of potential negative impacts (Lian et al., 2019; Wei and Cen, 2020). The maximum HQ<sub>die</sub> values in ripe tomatoes were greater in children. HQ<sub>die</sub> risks of Co, Sb, V, and La in ripe tomatoes were M<F<C. The maximum HI risk value in terms of ripe tomatoes was 31.33 for Co while minimum HI risk value was 3.92 for Sb. HI values in ripe tomatoes were Sb<V<La<Co. HI values in ripe tomatoes were M<F<C. Maximum HI risk value in terms of unripe tomatoes was 52.16 for Co while minimum HI risk value was 2.79 for Sb. THI for ripe tomatoes was 74.23.

#### Assessment of unripe tomatoes

Co, Sb, V, and La values determined in unripe tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater are shown in Figure 3.





**Figure 3.** Co, Sb, V, and La values in unripe tomatoes

When Co values were examined, highest Co value was  $3.28 \pm 0.16$  mg/kg in root, minimum Co value was  $0.91 \pm 0.04$  mg/kg in leaf. Co value in stem was  $0.93 \pm 0.04$  mg/kg. Co values for unripe tomatoes were leaf<stem<root. Similarly, Topal et al. (2022) reported that values for Co were leaf< stem< root in grapevines. Co ratios for root, stem, and leaf in unripe tomatoes were 64%, 19%, and 17%, respectively. The highest Sb was  $0.12 \pm 0.006$  mg/kg in root, lowest Sb value was  $0.04 \pm 0.002$  mg/kg in stem. Sb value in leaf was  $0.11 \pm 0.005$  mg/kg. Sb values for unripe tomatoes were stem<leaf<root. Different arrangement was reported by Topal et al. (2022) for grapevines. The values for Sb were stem<root<leaf in grapevines. Sb ratios for root, stem, and leaf in unripe tomatoes were 44%, 15%, and 41%, respectively. The highest V value was  $24 \pm 1.2$  mg/kg in root, lowest V value was  $4.0 \pm 0.2$  mg/kg in stem. V value in leaf was  $7.0 \pm 0.3$  mg/kg. V values for unripe tomatoes were stem<leaf<root. Different arrangement was reported by Topal et al. (2022) for grapevines. The values for V were leaf< stem< root in grapevines. V ratios for root, stem, and leaf in ripe tomatoes were 69%, 11%,

and 20%, respectively. The highest La was  $0.82 \pm 0.04$  mg/kg in root, lowest La value was  $0.07 \pm 0.003$  mg/kg in stem. La value in leaf was  $0.34 \pm 0.002$  mg/kg. La values for unripe tomatoes were stem<leaf<root. Similarly, Topal et al. (2022) reported that values for La were stem<leaf<root in grapevines. La ratios for root, stem, and leaf in ripe tomatoes were 67%, 6%, and 27%, respectively. The arrangement of the elements in the root, stem, and leaf of unripe tomatoes was  $V > Co > La > Sb$ . According to total element values in the unripe tomatoes; the highest value was  $35 \pm 1.7$  mg/kg for V, the lowest was  $0.27 \pm 0.01$  mg/kg for Sb. Co, Sb, V, and La in unripe tomatoes were compared with references (cobalt:0.2, antimony:0.1, vanadium:0.5 and lanthanum:0.2 mg/kg) given by Markert (1992). Co, Sb, V, and La value accumulated by ripe tomatoes was determined as 25.6 times for Co, 2.7 times for antimony, 70 times for V and 6.15 times for La, respectively. BCF and TF values of Co, Sb, V, and La for ripe tomatoes are given in Table 3.

**Table 3.** BCF and TF values of in unripe tomatoes

	BCF1 (root/soil)	BCF2 (stem/soil)	BCF3 (stem/water)	BCF4 (root/water)	BCF5 (fruit/soil)	TF1 (leaf/root)	TF2 (stem/root)	TF3 (leaf/stem)
Co	0.21	0.06	3.58	12.62	0.02	0.28	0.28	0.98
Sb	0.48	0.16	0.11	0.32	0.16	0.92	0.33	2.75
V	0.20	0.03	0.56	3.33	0.03	0.29	0.17	1.75
La	0.18	0.02	3.50	41.00	0.01	0.41	0.09	4.86



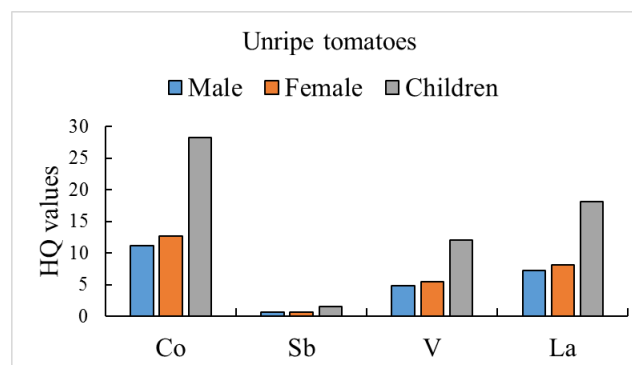
BCF1, BCF2, and BCF5 in ripe tomatoes were < 1. This indicates that Co, Sb, V, and La do not accumulate well from the soil to the roots, stems and fruits. BCF3 was >1 for Co and La. This indicates that Co and La accumulate well from wastewater to the stems. BCF4 was >1 for Co, V, and La. This indicates that Co, V, and La accumulate well from wastewater to the roots. The highest TF value was 4.86 for La, minimum TF was 0.09 for lanthanum. TF1s were

between 0.28 and 0.92. TF2s were between 0.09 and 0.33. TF3s were between 0.98 and 4.86. Co, Sb, V, and La values were <1 for TF1 and TF2. Co value was <1 for TF3. Sb, V, and La values were >1 for TF3. TF values greater than 1 indicate a good translocation of Sb, V, and La in unripe tomato organs (stem, leaf, and root). EDs of Co, Sb, V, and La in unripe tomatoes are shown in Table 4.

**Table 4.** Estimated daily exposure doses in unripe tomatoes (mg/kg.day)

Unripe tomatoes				
	Co	Sb	V	La
Male	3.36E-03	2.40E-04	2.40E-02	3.60E-04
Female	3.80E-03	2.72E-04	2.72E-02	4.08E-04
Children	8.48E-03	6.06E-04	6.06E-02	9.09E-04
<b>Total</b>	1.56E-02	1.12E-03	1.12E-01	1.68E-03

Maximum TED for humans in unripe tomatoes were 1.12E-01 mg/kg.day for V, minimum TED were 1.12E-03 mg/kg.day for Sb. TED values for humans in unripe tomatoes were Sb<La<Co<V, respectively. Max. ED for M, F, and C in unripe tomatoes were determined as 2.40E-02, 2.72E-02 and 6.06E-02 mg/kg.day for V, minimum EDs were 2.40E-04, 2.72E-04 and 6.06E-04 mg/kg.day for Sb, respectively. Total Co, Sb, V, and La values for C, M, and F, were 7.06E-02, 2.80E-02, and 3.17E-02 mg/kg.day, respectively. Total Co, Sb, V, and La in unripe tomatoes were male<female<children. The highest ED and TED values were calculated for vanadium. Vanadium causes various symptoms as reported by Ścibior et al. (2020). Important symptoms of vanadium exposure via the oral route include abdominal pain, gastrointestinal disorders, nausea, diarrhea, vomiting, loss of appetite, green-black tongue, and weight reduction (Ścibior et al., 2020). HQ risks for unripe tomatoes are shown in Fig 4.



**Figure 4.** HQ values in unripe tomatoes

Maximum HQ<sub>die</sub> for M in unripe tomatoes was observed as 11.19 for Co, while minimum HQ<sub>die</sub> was 0.59 for Sb. When the HQ<sub>die</sub> for F in unripe tomatoes were examined, maximum HQ<sub>die</sub> was 12.68 for Co, while minimum HQ<sub>die</sub> was 0.68 for Sb. When the HQ<sub>die</sub> for C in unripe tomatoes were examined, maximum HQ<sub>die</sub> was 28.28 for Co and minimum HQ<sub>die</sub> was 1.51 for Sb. HQ<sub>die</sub> values for C, M, and F for unripe tomatoes were Sb<La<V<Co. HQ<sub>die</sub> values for C, M, and F in unripe tomatoes were >10.0 for Co, V and La showing chronic toxic effect via dietary (Wei and Cen, 2020). HQ<sub>die</sub> values of CRMs were > 1 for M, F, and C (except male and female for Sb). Non-carcinogenic value greater than 1 is demonstration of potential negative impacts (Lian et

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1260249

al., 2019; Wei and Cen, 2020). The maximum  $HQ_{die}$  values in unripe tomatoes were greater in children.  $HQ_{die}$  risks of Co, Sb, V, and La in unripe tomatoes were  $M < F < C$ . The maximum HI risk value in terms of unripe tomatoes was 52.16 for Co while minimum HI risk value was 2.79 for Sb. HI values of Co, Sb, V, and La in unripe tomatoes were  $Sb < V < La < Co$ . Also, HI values of Co, Sb, V, and La in unripe tomatoes were  $M < F < C$ . THIs in unripe tomatoes were 110.66.

## CONCLUSION

Tomatoes are among the foods consumed by people. Especially unripe tomatoes are used in pickling. Ripe tomatoes are consumed by people such as breakfast, tomato paste, and etc. Some health risks arise as a result of tomato consumption exposed to contaminants. Hence, identification of pollutants that can cause any health risks in the content of tomatoes consumed by humans is important. Accumulations and health risks were investigated due to the Co, Sb, V, and La in tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater. The Co, Sb, V, and La concentrations were determined in each organ (stem, root and leaf) of ripe and unripe tomatoes. Maximum TED for humans in ripe and unripe tomatoes were determined as  $1.68E-01$  and  $1.12E-01$  mg/kg.day for V, respectively. Total Co, Sb, V, and La in ripe and unripe tomatoes were  $C > F > M$ . The maximum HQ values in ripe and unripe tomatoes were greater in C. The HQ and HI values of Co, Sb, V, and La in ripe and unripe tomatoes were  $M < F < C$ . HI values of Co and La were observed as  $ripe > unripe$ . HIs of Sb and V were observed as  $ripe > unripe$ . HQ values for F and C in ripe tomatoes were  $> 10.0$  for Co. HQ values for C, M, and F in unripe tomatoes were  $> 10.0$  for Co, V and La. This situation showed chronic toxic effect via dietary. When total hazard index (THI) values were examined, THI values in ripe and unripe tomatoes were 74.23 and 110.66, respectively. HIs and THIs were  $> 1$  for cobalt, vanadium, antimony and lanthanum concentrations in tomatoes. Therefore, tomatoes were found to accumulate Co, Sb, V, and La well, and hence a non-carcinogenic health risk to tomatoes growing in an area contaminated with municipal wastewater.

## 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

- Ahmad, A., Siddique, J. A., Laskar, M. A., Kumar, R., Mohd-Setapar, S. H., Khatoon, A. and Shiekh, R. A., (2015). New generation Amberlite XAD resin for the removal of metal ions: a review. *Journal of Environmental Sciences*, 31,104-123.
- Arnot, J. A., and Gobas, F. A. (2006). A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, 14(4), 257–297.
- 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.
- Auerbach, R., Bokelmann, K., Stauber, R., Gutfleisch, O., Schnell, S. and Ratering, S., (2019). Critical raw materials – Advanced recycling technologies and processes: Recycling of rare earth metals out of end of life magnets by bioleaching with various bacteria as an example of an intelligent recycling strategy, *Minerals Engineering*, 134, 104-117.
- Bonanno, G., Vymazal, J., and Cirelli, G. L. (2018). Translocation, accumulation and bioindication of trace elements in wetland plants. *Science of the Total Environment*, 631–632, 252–261.
- Cobalt Institute, Core Applications (2019), <https://www.cobaltinstitute.org/core-applications.html> (Accessed: 21.05.2020)
- Cusack, P.B., Courtney, R., Healy, M.G., O’ Donoghue, L.M.T. and Ujaczki, E., (2019). An evaluation of the general composition and critical raw material content of bauxite residue in a storage area over a twelve-year period, *Journal of Cleaner Production*, 208, 393-401.
- Chevinli, A.S., Najafi, M., Sillanpää, M., (2019). Removal of La (III) ions from aqueous solution by Lanthanide MOF; characterization, synthesizing and process conditions study, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, Article 100216.
- D’Haese, P.C., Douglas, G., Verhulst, A., Neven, E., Behets, G.J., Vervaeet, B.A., Finsterie, K., Lürling, M. and Spears, B., (2019). Human health risk associated with the management of phosphorus in freshwaters using lanthanum and aluminium, *Chemosphere*, 220, 286-299.
- Dyshlyuk, L., Babich, O., Prosekov, A., Ivanova, S., Pavsky, V. and, Chaplygina, T., (2020). The effect of postharvest ultraviolet irradiation on the content of

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1260249

- antioxidant compounds and the activity of antioxidant enzymes in tomato, *Heliyon*, 6 (1), Article e03288.
- Gonzaga MIS, Santos JAG and Ma LQ. (2006). Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*. 63(1), 90-101.
- Guo, X., Wu, Z. and He, M., (2009). Removal of antimony(V) and antimony (III) from drinking water by coagulation–flocculation–sedimentation (CFS), *Water Research*, 43(17), 4327-4335.
- Hegazy A. K, Abdel-Ghani N. T. and El-Chaghaby G. A. (2011). Phytoremediation of industrial wastewater potentiality by *Typha domingensis*. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 8(3), 639-648.
- Hong, G., Shen, L., Wang, M., Yang, Y., Wang, X., Zhu, M. and Hsiao, B. S., (2014). Nanofibrous polydopamine complex membranes for adsorption of Lanthanum (III) ions, *Chem. Eng. J.*, 244, 307-316.
- Lian, M., Wang, J., Sun, L., Xu, Z., Tang, J., Yan, J. and Zeng, X., (2019), Profiles and potential health risks of heavy metals in soil and crops from the watershed of Xi River in Northeast China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 442-448
- Lu, C., Ding, J., Park, H. K. and Feng, H., (2020), High intensity ultrasound as a physical elicitor affects secondary metabolites and antioxidant capacity of tomato fruits, *Food Control*, 113, Article 107176.
- Ma L, Q., Komar K. M., Tu C., Zhang W., Cai Y. and Kennelly E.D., (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature Biotech.* 409, 579.
- Markert, B., (1992). Establishing of Reference Plant for Inorganic Characterization of Different Plant Species By Chemical Fingerprinting, *Water, Air and Soil Pollution*, 64, 533-538.
- Martins, F. and Castro, H., (2019). Significance ranking method applied to some EU critical raw materials in a circular economy – priorities for achieving sustainability, *Procedia CIRP*, 84, 1059-1062.
- Pierart, A., Shahid, M., Séjalon-Delmas, N., Dumat, C., (2015). Antimony bioavailability: Knowledge and research perspectives for sustainable agricultures, *Journal of Hazardous Materials*, 289, 219-234.
- Pinto, J., Costa, M., Leite, C., Borges, C., Coppola, F., Henriques, B., Monteiro, R., Russo, T., Di Cosmo, A., Soares, A. M. V. M., Polese, G., Pereira, E. and Freitas, R. (2019). Ecotoxicological effects of lanthanum in *Mytilus galloprovincialis*: Biochemical and histopathological impacts. *Aquatic Toxicology*, 211, 181–192.
- RWPC. (2009). Regulation on water pollution control: sampling and analysis method. Official Gazette dated 10.10.2009 and numbered 27372.
- Simonsen, L. O., Harbak, H., Bennekouï, P., (2012). Cobalt metabolism and toxicology-A brief update, *Science of The Total Environment*, 432, 210-215.
- Sitprija, V. and Eiam-Ong, S., (1998). Vanadium and metabolic problems, J.O. Nriagu (Ed.), *Vanadium in the Environment. Part 2: Health Effects*, 31, John Wiley and Sons, New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto, 91-120.
- Ścibior, A., Pietrzyk, L., Plewa, Z. and Skiba, A., (2020). Vanadium: Risks and possible benefits in the light of a comprehensive overview of its pharmacotoxicological mechanisms and multi-applications with a summary of further research trends, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61, Article 126508.
- Total, M. and Arslan Total, 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.
- Total, M., Öbek, E. and Arslan Total, E. I., (2020). Performance of *Cladophora fracta* for Bioaccumulation of Critical Raw Materials from Mine Gallery Waters. *Arab J Sci Eng.* 45,4531-4539.
- Total, M. and Arslan Total, E. I., (2022). Preliminary assessment of health risks associated with consumption of grapevines contaminated with mining effluents in Turkey: Persistent trace elements and critical raw materials. *Integ. Environ. Assess. Manage.* 18,517-527.
- van den Brink, S., Kleijn, R., Sprecher, B. and Tukker, A., (2020). Identifying supply risks by mapping the cobalt supply chain, *Resources, Conservation and Recycling*, 156, Article 104743.
- USEPA, (1989). Risk assessment guidance for Superfund Human health evaluation manual, (part A) [R], vol. 1, Office of emergency and remedial response, Washington, DC (1989) [EPA/540/1-89/002].
- USEPA, (2001). Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites [R]. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC [OSWER9355.4e24].
- USEPA, (2011), United States Environmental Protection Agency. Exposure Factors Handbook. National Center for Environmental Assessment. Washington, DC (EPA/600/R-09/052F), <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>.
- Wei, J. and Cen, K., (2020), Assessment of human health risk based on characteristics of potential toxic elements (PTEs) contents in foods sold in Beijing, China, *Science of The Total Environment*, 70310, Article 134747.

## GloVe Kelime Gömmeleri ve Sinir Ağları ile Haber Metinlerinin Sınıflandırılması

Hülya Hark<sup>1\*</sup>, Meral Karakurt<sup>2</sup>, Cengiz Hark<sup>1</sup>, Ali Karacı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Osmaniye, Türkiye

<sup>3</sup>İnönü Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

hulyahark@hotmail.com.tr<sup>ID</sup>, meralkarakurt@osmaniye.edu.tr<sup>ID</sup>, cengiz.hark@inonu.edu.tr<sup>ID</sup>,

ali.karaci@inonu.edu.tr<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 14.03.2023, Makale kabul tarihi: 02.05.2023

### Öz

Dijital haberlerin artan miktarları, istenilen türdeki haberlere doğru ve hızlı bir şekilde erişim için haber metinlerinin kategorilere ayrılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, ön-eğitilmiş kelime gömmelerinin, Uzun Ömürlü Kısa Dönem Bellek Ağı (Long-Short Term Memory, LSTM) ve Evrimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network, CNN) gibi derin öğrenme modelleri üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Global Vektör (GloVe) kelime gömmelerinden alınan bağlamsal temsilleri girdi olarak alan LSTM ve CNN ağları kullanılarak haber metinleri sınıflandırılmıştır. Kapsamlı ve karşılaştırmalı araştırmaların eksikliği nedeniyle GloVe gömme katmanı tarafından sağlanan bağlamsal temsiller farklı sınıflandırıcılar ve veri setleri üzerinde test edilmektedir. Deneysel süreçler boyunca Türkçe Haber başlıklarından oluşan Turkish Headlines veri seti ve BBC News Classification veri setleri kullanılmıştır. Kelime gömmelerinin ağlar üzerindeki etkisini ortaya koymak için deneysel süreçler aynı parametreler ile tekrarlanmıştır. LSTM modelinde GloVe kelime gömme yöntemi kullanıldığında modelin başarısının %81'den %91'e çıktığı gözlemlenmektedir. CNN modelinde ise GloVe kelime gömmelerinin modelin başarısının olumlu yansımadığı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağları, derin öğrenme, Evrimsel Sinir Ağları(CNN), GloVe.

## Classification of News Texts with GloVe Word Embeddings and Neural Networks

### Abstract

Increasing amounts of digital news require categorization of news texts for accurate and fast access to the desired type of news. This study investigates the effect of pre-trained word embeddings on deep learning models such as Long-Short Term Memory Networks (LSTM) and Convolutional Neural Networks (CNN). News texts were classified using LSTM and CNN networks, which received contextual representations from Global Vector (GloVe) word embeddings. The Turkish Headlines dataset, consisting of Turkish News headlines, was used during the experimental processes. Experimental processes were repeated with the same parameters to reveal the effect of word embeddings on networks. When the GloVe word embedding method is used in the LSTM model, it is observed that the model's success increases from 81% to 91%. In the CNN model, on the other hand, it is seen that the GloVe word embeddings do not positively reflect the model's success.

**Keywords:** Artificial neural networks, deep learning, Convolutional Neural Networks (CNN), GloVe.

### GİRİŞ

Dil, insanlık tarihinde çok önemli bir yere sahiptir. İnsanların iletişim kurması, bilgilerin nesilden nesile aktarılması ve bilimin ilerlemesi dil ile mümkün olmaktadır. Bilgisayar teknolojilerinin artması ve internetin yaygınca kullanılmasıyla

beraber internet üzerinden bilgi paylaşımı artmakta ve bu bilgileri çeşitli amaçlarla işlemek için birçok yapay zeka ve makine öğrenmesi yöntemi geliştirilmektedir. Yapay zeka, canlıların öğrenme sürecini matematiksel olarak ifade etmeyi amaçlayan



bir bilim dalıdır. Makine öğrenmesi, makinelerin insan beyni gibi öğrenebilmesi ve insan gibi davranabilmesini amaçlayan bir yapay zeka kavramıdır. İnsan beyinde öğrenme işlemi, nöron adı verilen sinir hücrelerinin işlevleriyle gerçekleşmektedir. Makinelerde biyolojik nöronlar gibi işlem elemanları olarak yapay nöronlar kullanılmaktadır (Karakurt vd, 2022). Yapay sinir hücrelerinin öğrenme sürecini tamamlayıp karar verme işlemlerini gerçekleştirdiği yapının tümüne de Yapay Sinir Ağları (YSA) denilmektedir.

Doğal Dil İşleme (DDİ), bir dilde kullanılan yazılı veya sözlü ifadelerin, bilgisayarlar tarafından işleme sürecidir (Şeker, 2015). Bilgisayarların insanlarla etkileşimini sağlayan DDİ yöntemleriyle tasarlanan teknolojik ürünler daha çok tercih edilmektedir. DDİ çalışmaları, son dönemlerde metin verilerinin artmasıyla oldukça popüler olmuştur. YSA'lar, metin üretme, metin sınıflandırma, duygu analizi, otomatik çeviri, konuşma tanıma, soru-cevap sistemlerinin geliştirilmesi, yazım yanlışlarının otomatik düzeltilmesi ve daha birçok görev için kullanılmaktadır (Adalı, 2016),(Aydoğan ve Karcı, 2019a),(Aydoğan ve Karcı, 2019b).

Yapay sinir hücrelerini modelleyen ilk çalışma McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında yapılmıştır (McCulloch ve Pitts, 1943). 1958 yılında Rosenblatt, tek katmanlı bir sinir hücresi tasarlamıştır. Algılayıcı (perceptron) adını verdiği bu sinir hücresinin öğrenmesini bir "eşikten geçirme" yöntemiyle gerçekleştirmiştir (Rosenblatt, 1958). 1980'li yıllara kadar sunulan çalışmalar sadece iki seçeneğe sonuçları olan doğrusal problemleri çözebilmişlerdir. Ancak gerçek hayattaki çoğu problem doğrusal olmadığından yapay zeka çalışmaları popülerlik kazanamamıştır. Doğrusal olmayan problemleri çözmek için birden fazla nöronun kullanıldığı çok katmanlı yapay sinir ağları 1980'li yıllarda ortaya atılmıştır. 1989 yılında Yann LeCun vd, yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde geri yayılım algoritmasını kullanmışlardır. Bir gerçek dünya problemini çözen ilk başarılı derin öğrenme yöntemi olarak bilinen çalışmalarında, el yazısı rakam tanıma işlemini gerçekleştirmişlerdir (LeCun vd, 1989). 2000'li yıllara kadar gerekli yazılım ve donanımsal alt yapının yetersiz olması nedeniyle yapay zeka çalışmaları popülerlik kazanamamıştır.

2010'lu yıllarda derin öğrenme kavramıyla tanımlanan ve ham veriler kullanılarak yapılan yapay

sinir ağı çalışmaları yaygınlaşmıştır. Önceki yıllarda sunulan klasik YSA çalışmalarında verilere ait özellikler (öznelikler) tanımlandıktan sonra ağa verilirken derin öğrenme yöntemlerinde verilere ait özellik çıkarma işlemi bizzat ağ tarafından yapılmaktadır. Tasarımlarında klasik YSA'ların da kullanıldığı karmaşık yapıya sahip birçok derin öğrenme yöntemi geliştirilmektedir.

Metin sınıflandırma probleminin çözümü için başta İngilizce olmak üzere birçok dünya dilinde metin verileri kullanılmaktadır. Türkçe metin verilerinin sayısı istenilen yeterlilikte değildir. Diri ve Amasyalı tarafından 2003 yılında sunulan ve Türkçe bir gazetede yer alan metinlerin yazarlarını ve türlerini belirleyen çalışmaları, Türkçe metin verilerinin kullanıldığı ilk çalışmalardan biridir (Diri ve Amasyalı, 2003). Yapay sinir ağlarına girdi olarak verilen metin verileri yerine bu verilerin temsillerini kullanarak ağların performans ve hızlarını arttırmada önemli bir yere sahip olan ve word2vec olarak adlandırılan kelime gömülmesi (word embedding) yöntemi, Google'de çalışan Mikolov vd tarafından 2013 yılında ortaya atılmıştır (Mikolov vd,2013).

Bu çalışmada, CNN, LSTM, GloVe CNN ve GloVe LSTM yöntemleri kullanılarak Türkçe Haber başlıklarından oluşan Turkish Headlines Dataset veri seti ile BBC-text sınıflandırılmıştır.

## İLGİLİ ÇALIŞMALAR

LeCun vd (1998), gradyan tabanlı öğrenme gerçekleştiren geri yayımlı bir CNN modeli sunmuşlardır. LeNet-5 olarak adlandırdıkları model ile MNIST veri setini kullanarak el yazısı karakter tanıma işlemi yapmışlardır (LeCun vd, 1998).

Aşlıyan ve Günel (2010), 5 sınıflı Türkçe dokümanları sınıflandırmak için En Yakın Komşu (EYK) ve K-En Yakın Komşu (KYK) yöntemlerini kullanarak yaptıkları çalışmada, %88.4 doğruluk değeriyle EYK metodunun daha başarılı olduğunu göstermişlerdir (Aşlıyan ve Günel, 2010).

Amasyalı, Diri ve Türkoğlu (2006), yazarları bilinmeyen dokümanların, yazarlık özellikleri önceden çıkarılmış 18 yazardan hangisine ait olduğunu belirlemek amacıyla N-gramlar kullanarak oluşturdukları özellik vektörlerini Naive Bayes, Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makinesi (DVM) ve C 4.5 yöntemleriyle sınıflandırmışlardır. Naive Bayes ve DVM yöntemlerinin başarılı olduğunu ve ayrıca N-gramların başarıyı arttırdığını göstermişlerdir (Amasyalı, Diri ve Türkoğlu, 2006).



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301

N-gramlar kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada, Doğan ve Diri (2010), üç farklı Türkçe veri setini Ng-ind adını verdikleri yeni bir N-gram yöntemi ile yazarlarına, türüne ve yazarın cinsiyetine göre sınıflandırmışlardır. 2-, 3- ve 4-gramlar kullanarak yaptıkları çalışmayı Destek Vektör Makinesi (DVM), K-En Yakın Komşu (KYK) ve Rastgele Orman (RO) yöntemleriyle kıyaslamışlardır. Sonuç olarak cinsiyet ve tür belirlemede Ng-ind yöntemi, diğer yöntemlerden daha başarılı olmuştur (Doğan ve Diri, 2010).

Levent ve Diri (2014), Türkçe gazete köşe yazarlarına ait önceden çıkarılan yazarlık özelliklerini kullanarak tasarladıkları Yapay Sinir Ağı (YSA) ile yazar tanıma işlemini gerçekleştirmişlerdir (Levent ve Diri, 2014).

Süzen (2019), üniversitelere giriş sınavında matematik bölümündeki soruları konularına göre LSTM kullanarak sınıflandırmıştır. Türkiye’de 1981-2018 yılları arasında yapılan üniversite giriş sınavlarında 16 konudan oluşan matematik bölümüne ait 931 sorudan oluşan veri seti ile yaptığı çalışma sonunda test kümesinde ortalama %96.82 doğruluk elde etmiştir. Aynı veri seti üzerinde farklı makine öğrenmesi yöntemleri de kullanarak yaptığı kıyaslamada LSTM’ nin daha başarılı olduğunu göstermiştir (Süzen, 2019).

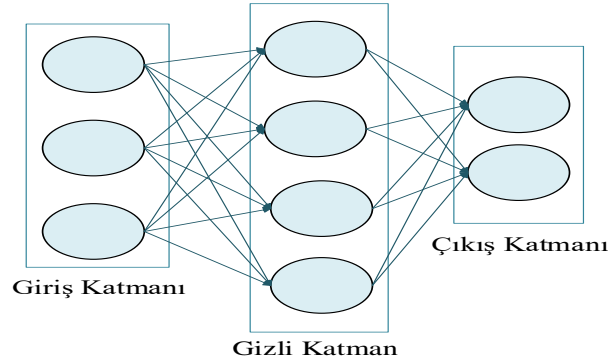
Acı ve Çırak (2019), Türkçe haber metinlerini Word2Vec metodu ile birlikte CNN kullanarak sınıflandırmışlardır. Turkish Text Classification 3600 (TTC-3600) veri setini kullanarak yaptıkları çalışmada %93.3 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Sundukları modelin başarımını kıyaslamak için Word2Vec metodu kullanmadan ham verilerle ağı eğittiklerinde başarı değerini %90.1 olarak ölçmüşlerdir. Böylece, Word2Vec yönteminin ağın başarımını arttırdığı görülmektedir (Acı ve Çırak, 2019).

Uçkan vd. (2019), KUSH (Karci-Uçkan-Seyyarer-Hark) adını verdikleri ön işleme aracıyla metinleri bir ön işlemde geçirdikten sonra graf tabanlı bir yöntemle metin sınıflandırma yapmışlardır (Uçkan vd, 2019). Darbaş ve Karıcı (2020), metin benzerliklerini ölçmek amacıyla grafların yapısal özelliklerinin kıyaslanmasıyla ölçülen yeni bir graf benzerliği yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemle, bir cümlede yer alan bir kelimenin, diğer cümlelerde yer alıp almamasına göre bir benzerlik ölçümü yapmışlardır (Darbaş ve Karıcı, 2020).

Hark (2022), sahte haber tespiti yapmak amacıyla Covid-19 sahte haber tespiti veri seti üzerinde Global Vektörler (GloVe) adı verilen ön eğitilmiş kelime gömülme katmanının sağladığı metin temsilleri ile birlikte Uzun Ömürlü Kısa Dönem Bellek Ağı (LSTM), Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN), Evrimsel Sinir Ağları (CNN) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) yöntemlerini kullanmıştır. İlgili çalışmanın sonunda elde ettiği %91 F-skoru ile LSTM’nin en başarılı model olduğunu göstermiştir (Hark, 2022).

## YAPAY SİNİR AĞLARI

Biyolojik sinir hücreleri ve bu hücrelerin birbiriyle olan ilişkilerini bilgisayar ortamında matematiksel olarak modelleyen yöntemler bütününe YSA denir. Bir YSA, tek bir nörondan oluşturulmuşsa Tek Katmanlı YSA veya algılayıcı, birden fazla nörondan ve katmandan oluşturulmuşsa da Çok Katmanlı YSA olarak tanımlanır. Temel bir Çok Katmanlı YSA, Şekil 1’de gösterildiği gibi girdi katmanı, ara (gizli) katman ve çıktı katmanından oluşmaktadır.

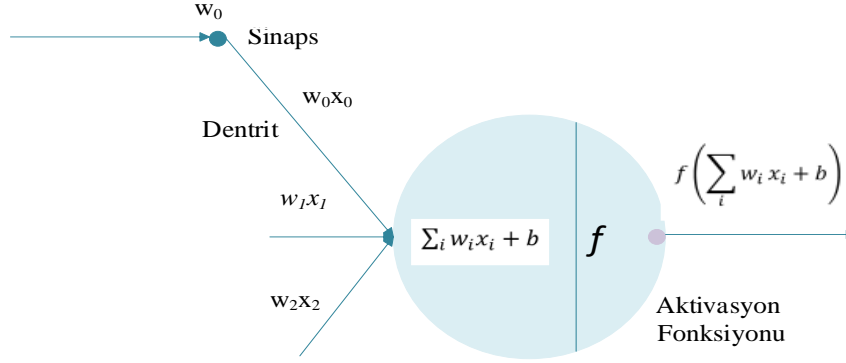


Şekil 1. Çok Katmanlı YSA’da temel katmanlar

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301

Bu katmanlarda nöronlar, ağırlıklar, bias, aktivasyon fonksiyonları kullanılarak öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2 ile gösterilen bir nörona giren girdi değerleri ile ağırlıklarının çarpılması, devamında bu çarpımların bias değeri de eklenerek toplanması ve elde edilen bu toplam sonucunun bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle elde edilen sonuç o nöronun sayısal

olarak çıktı bilgisidir. Aktivasyon fonksiyonu, bir nöronun çıktı değeri üretip üretmeyeceğini (nöronun aktif ya da pasif olacağını) belirleyen bir fonksiyondur (Karakurt ve İşeri, 2022). Örneğin; Sigmoid, Linear, Softmax, Hiperbolik Tanjant, ReLU, Leaky ReLU, PReLU, Swish ve daha birçok aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır.



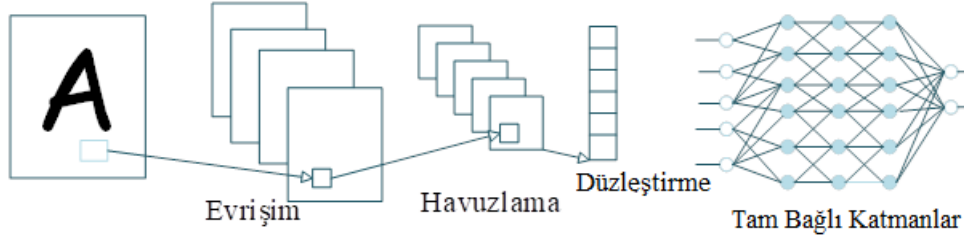
Şekil 2. Tek hücreli YSA

Biyolojik nöronlardaki sinyal bilgisine karşılık gelen yapay nöronların sayısal çıktı bilgisi Çok Katmanlı YSA'larda bir sonraki katman nöronlarına girdi olarak verilir. Böylece, girdi katmanından çıktı katmanına doğru yapılan bu işlemlere ileri yayılım (besleme) denir. İleri yayılım sonucunda elde edilen çıktının beklenen çıktı değeri ile farkı alınarak bir hata değeri hesaplanır. Eğer bu değer tolere edilemeyecek büyüklükte ise hata çıktı katmanından ara katmana doğru gönderilerek her nöronun güncellenmesi sağlanır. Ağın çıktısını beklenen çıktı değerine yaklaştırmak için yapılan bu işleme geri

yayılım denir. Geri yayılım işlemi sonunda hatanın en aza düşürülmesi ve ağın başarılı bir öğrenme gerçekleştirmesi beklenir.

### Evrişimsel Sinir Ağları (CNN):

CNN'ler, doğrusal değildir ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle görüntü analizinde en sık kullanılan yöntemdir. Bir CNN temelde, Şekil 3'te gösterildiği gibi girdi katmanı, tam bağlı katman, bir veya daha fazla evrişim katmanı, havuzlama katmanı ve aktivasyon katmanından oluşmaktadır.



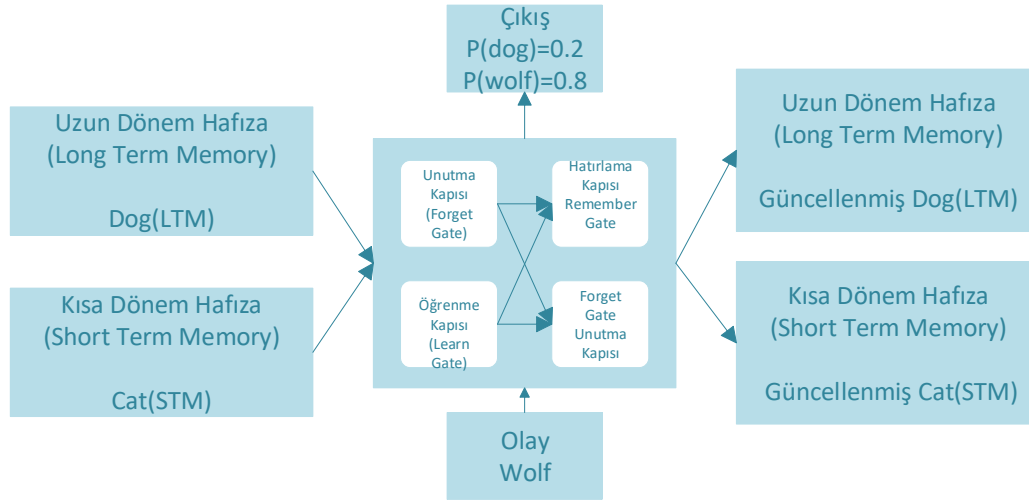
Şekil 3. Örnek bir CNN mimarisi (<https://medium.com/@tuncerergin/convolutional-neural-network-convnet-yada-cnn-nedir-nasil-calisir-97a0f5d34cad>)

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301

### Uzun Ömürlü Kısa Dönem Bellek Ağı (Long Short Term Memory – LSTM):

Literatürde Uzun Kısa Süreli Bellek, Uzun Kısa Vadeli bellek gibi isimlerle de anılan LSTM'ler, RNN'lerde oluşan bellek yetersizliği problemini çözmek amacıyla ortaya atılan bir RNN modelidir.

RNN'lerde bir birim öncesi hatırlanırken LSTM'lerde daha uzun dönemlere ait bilgiler hatırlanmakta ve dolayısıyla LSTM'ler daha başarılı olmaktadır. Bir LSTM modeli temelde Şekil 4'te gösterildiği gibi giriş kapısı, çıkış kapısı, unutma kapısı ve hafıza (hatırlama) kapısından oluşmaktadır.



Şekil 4. LSTM modeli (Kaynak: Udacity)

### Global Vektörler (GloVe):

Metin verileri, doğrudan (ham veriler olarak) bir yapay sinir ağının girdisi olamaz. Bu verilerle çalışabilmek için öncelikle verilerin, ağın işleyebileceği sayısal bilgilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Ham metin verileri yerine bu verilerin anlamsal yakınlıklarına göre temsillerinin elde edildiği yöntemlere kelime gömülmesi (word embedding) denmektedir. Kelime gömülmesi yöntemlerinde, bir ağa girdi olarak verilen metin verilerinin temsillerinin elde edildiği bir ön işleme (ön eğitim) adımı gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler ile dile ait sözcükler veya cümleler sayısallaştırılıp birer vektör haline getirilmektedir. Böylelikle metin verileri, sayısal olarak vektör uzayında temsil edilmektedir.

Kelime gömülmesi yöntemleriyle çok büyük veri setlerinden (1.6 milyar kelimedenden oluşan bir veri seti gibi), herhangi bir veri kaybı olmadan, daha küçük boyutta temsiller elde edilerek hem hesaplama maliyeti düşürülmekte hem de bu temsillerin girdi olarak verildiği ağların performansı, temsillerin kullanılmadığı ağların performansından daha iyi olmaktadır (Mikolov vd, 2013).

Kelime gömülmesi sürecinde sinir ağı, rastgele değerlerin atandığı vektörlerden temsilleri öğrenerek girdi değerleri olarak kullanılacak olan temsil vektörlerini elde etmektedir. Öğrenme adımında geri besleme yöntemiyle vektörleri güncelleyerek eğitim verisine en uygun kelime gömülme uzayını oluşturacaktır (Hark, 2022).

Bu çalışmada, literatürde var olan bir GloVe kelime gömülme yöntemi kullanılarak ön işlemeden geçen metin verilerine ait temsiller CNN ve LSTM modellerine girdi olarak verilerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapmak için GloVe yöntemi kullanılmayan metin vektörlerini girdi olarak alan CNN ve LSTM modelleriyle de sınıflandırma yapılmıştır.

### DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkçe haber başlıklarını kategorilerine göre sınıflandırmak için literatürde var olan ön eğitilmiş GloVe kelime gömülme temsillerinin farklı derin öğrenme ağları üzerindeki performansına etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamındaki tüm deneyler, açık kaynak kodlu bir tümleşik dağıtım olan Anaconda IDE'sinin Jupyter notebook programında Python dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deneylerde Keras, TensorFlow, sklearn, numpy

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1265301

kütüphaneleri ile ön eğitilmiş kelime gömülmesi modeli olarak GloVe 100 boyutlu gömülme vektörü kullanılmıştır.

### Veri Seti

Bu çalışmada, Türkçe Haber başlıklarından oluşan Turkish Headlines Dataset (UCI Machine Learning Repository: Turkish Headlines Dataset Data Set, 2021) veri seti (VeriSeti\_1) ile BBC News Classification (Bose, 2019) veri seti (Veri\_Seti2) kullanılmıştır. VeriSeti\_1 Tablo 1’de gösterildiği gibi 7 sınıflı ve VeriSeti\_2 Tablo 2’de gösterildiği gibi 5 sınıflı haber metinlerinden oluşmaktadır.

**Tablo 1.** VeriSeti\_1 özellikleri

Sınıf Bilgisi	İçerik Sayısı
Ekonomi	600
Siyaset	600
Yaşam	600
Teknoloji	600
Magazin	600
Sağlık	600
Spor	600

**Tablo 2.** Veri\_Seti2 özellikleri

Sınıf Bilgisi	İçerik Sayısı
Sport	511
Business	510
Politics	417
Tech	401
Entertainment	386

### Eğitim Süreci

Çalışmada kullanılan veri setleri, eğitim için %80 ve test için %20 olarak ayrılmıştır. Eğitim verilerinin de %20’si veri doğrulama işlemi için kullanılmıştır. Her veri kümesinin miktarı otomatik veri bölme ile rastgele olarak bölünmüştür.

### Performans Metriği

Sınıflandırma algoritmalarının performans değerlendirmesi, nesnel bir ölçüt olarak karmaşıklık matrisi kullanılarak ifade edilebilir. Karmaşıklık matrisindeki sütunlar gerçek değerleri, satırlar ise tahmin değerlerini göstermektedir. Karmaşıklık matrisinden elde edilen ve sistemin performansını değerlendirmek için kullanılan çeşitli ölçütler vardır. Bu çalışmada, performans metriği olarak Accuracy (Doğruluk), Precision (Kesinlik), Recall (Duyarlılık) ve F1-Score (F1-Puanı) kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Karmaşıklık matrisi

		Gerçek Sınıfı	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Sınıfı	Pozitif	Doğru Pozitif (TP)	Yanlış Pozitif (FP)
	Negatif	Doğru Negatif (FN)	Yanlış Negatif (FN)

**Tablo 4.** Performans değerlendirme ölçütleri

Değerlendirme Ölçütü	Hesaplama Formülü	Tanımı
<b>Doğruluk (Accuracy)</b>	$\frac{TP + TN}{FP + FN + TP + TN}$	Bütün örnekler içindeki doğruluk oranıdır.
<b>Kesinlik (Precision)</b>	$\frac{TP}{FP + TP}$	Sadece pozitif tahminleri içinde doğru pozitif oranıdır.
<b>Duyarlılık (Recall)</b>	$\frac{TP}{FN + TP}$	Sadece pozitif örnekler içinde doğru pozitif tahmin oranıdır.
<b>F1-Puanı</b>	$2 \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$	Kesinlik ve duyarlılığı birlikte değerlendirmek için önerilen bir puandır.

**Eğitim Modeli**

Yapılan çalışmada önerilen modeller üzerinde kullanılmış olan eğitim tur sayısı (iterasyon - epoch),

nöron sayısı, öğrenme oranı, kayıp fonksiyon, aktivasyon fonksiyonu, optimize edici fonksiyon değerleri Tablo 5 ile gösterilmektedir.

**Tablo 5.** CNN, LSTM, RNN ve GLOVE-LSTM, GLOVE-CNN, GLOVE-RNN eğitim modelleri

Verilerin Ağa Sunulma Biçimi	Model	Eğitim Tur Sayısı	Nöron Sayısı	Öğrenme Oranı	Kayıp Fonksiyonu	Gizli Katman Aktivasyon Fonksiyon	Çıkış Katman Aktivasyon Fonksiyon	Vektör Boyutu	Optimizasyon fonksiyonu
<b>KELİME GÖMÜLMESİZ</b>	LSTM	30	128	0,001	Categorical Cross Entropy	Relu	Softmax	-	Adam
	RNN	30	128	0,001	Categorical Cross Entropy	Relu	Softmax	-	Adam
	CNN	30	128	0,001	Categorical Cross Entropy	Relu	Softmax	-	Adam
<b>GLOVE KELİME GÖMÜLMESİ</b>	LSTM	30	128	0,001	Categorical Cross Entropy	Relu	Softmax	300	Adam
	RNN	30	128	0,001	Categorical Cross Entropy	Relu	Softmax	300	Adam
	CNN	30	128	0,001	Categorical Cross Entropy	Relu	Softmax	300	Adam

**LSTM modeli**

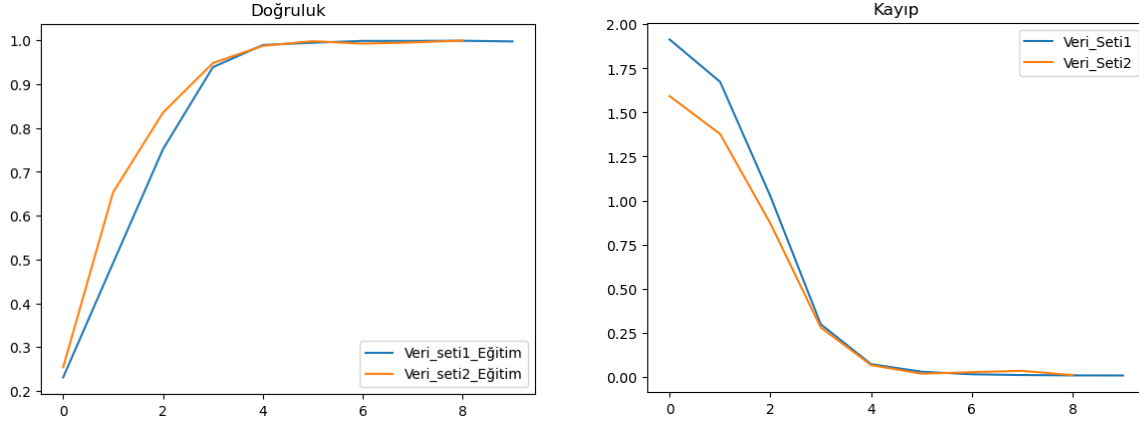
LSTM sınıflandırma modeli Tablo 5'te belirtilen hiper parametreler ile 4 katmanlı olarak tasarlanan ağdan elde edilen eğitim doğruluğu VeriSeti\_1 için

%87, VeriSeti\_2 için %82 olarak hesaplanmıştır. LSTM modeline ait eğitim ve test verileri için doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 5 ile gösterilmektedir. Tablo 6' da her iki veri seti için



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301

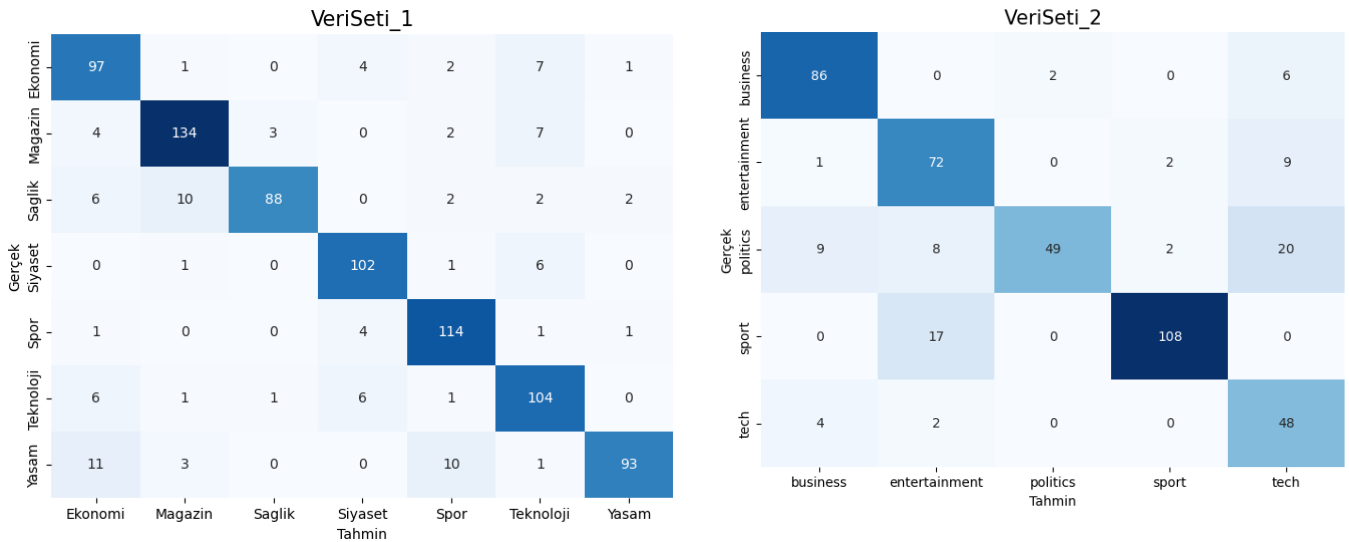
Kesinlik , Duyarlık ve F1-Puanı değerleri ve Şekil 6’ da ise her iki veri setine ait LSTM modeli karmaşıklık matrisi gösterilmektedir.



Şekil 5. Modele ait doğruluk ve kayıp grafikleri

Tablo 6. Sınıflandırma raporu

Veri Seti	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puanı
Veri_Seti1	0.87	0.99	0.96	0.93
Veri_Seti2	0.82	0.86	0.91	0.89



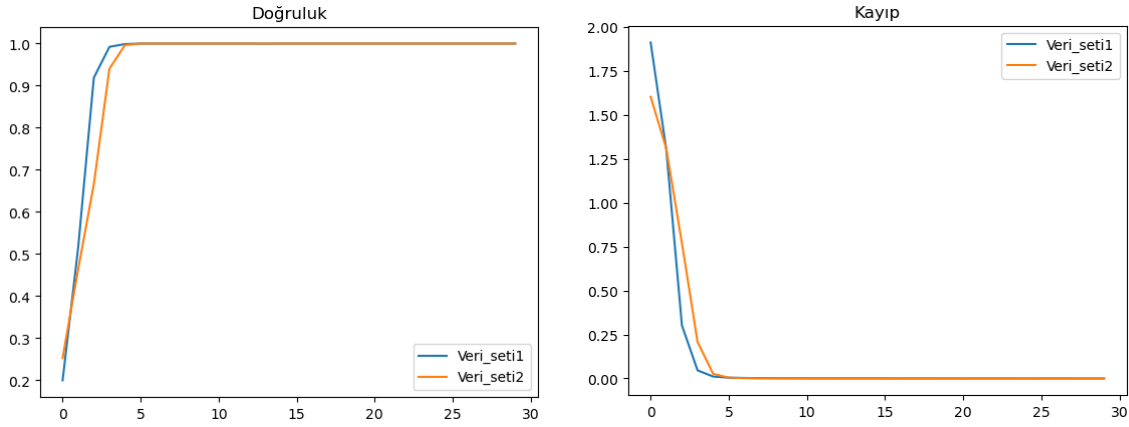
Şekil 6. Karmaşıklık matrisi

## CNN

Tablo 5’te belirtilen hiper-parametreler ile 4 katmanlı olarak tasarlanan CNN modelinin eğitilmesi sonucu elde edilen doğruluk değeri; VeriSeti\_1 için %96, VeriSeti\_2 için 0.97 olarak hesaplanmıştır. CNN

modeline ait doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 7 ile gösterilmektedir. Tablo 7’ de her iki veri seti için Kesinlik , Duyarlık ve F1-Puanı değerleri ve Şekil 8’de ise her iki veri setine ait CNN modeli karmaşıklık matrisi gösterilmektedir.

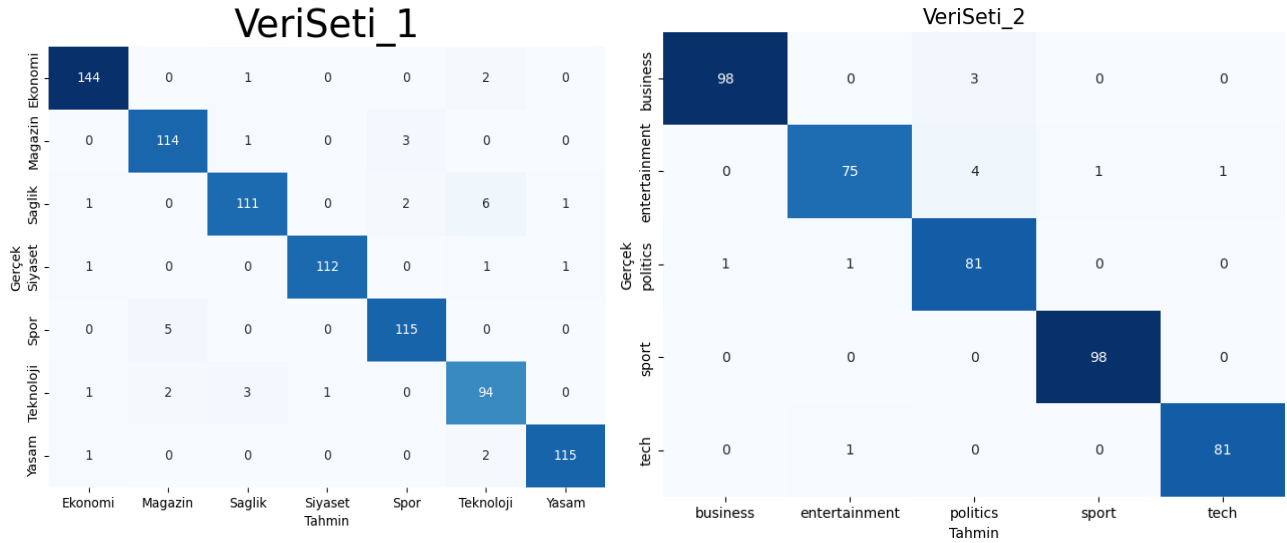
Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301



Şekil 7. Veri setleri için tasarlanan modele ait doğruluk ve kayıp grafikleri

Tablo7. Sınıflandırma raporu

Veri Seti	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puanı
Veri_Seti1	0.96	0.98	0.98	0.98
Veri_Seti2	0.97	0.97	0.99	0.98



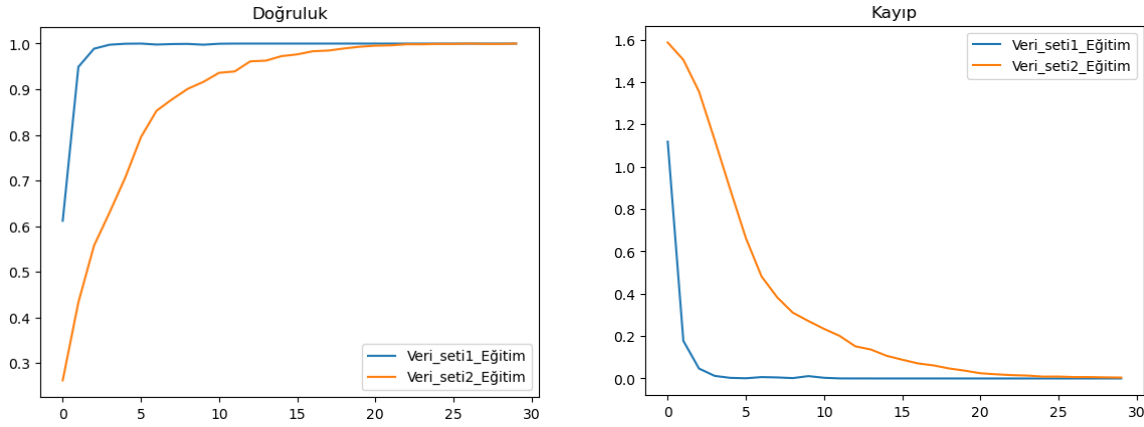
Şekil 8. Karmaşıklık matrisi

### GloVe-LSTM

Tablo 5'te belirtilen hiper-parametreler ile 4 katmanlı olarak tasarlanan GloVe-LSTM modelinde 300 boyutlu GloVe kelime yerleştirmesiyle sınıflandırma testi değerlendirmesinin sonunda elde edilen doğruluk değeri VeriSeti\_1 için %88 ve VeriSeti\_2 için %93 olarak hesaplanmıştır. Modelin doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 9 ile gösterilmektedir. Tablo 8'

de her iki veri seti için Kesinlik, Duyarlılık ve F1-Puanı değerleri ve Şekil 10'da ise her iki veri setine ait GloVe-LSTM modeli karmaşıklık matrisi gösterilmektedir. Tablo 8 incelendiğinde GloVe kelime yerleştirme ile sistemin performansının arttığı görülmektedir.

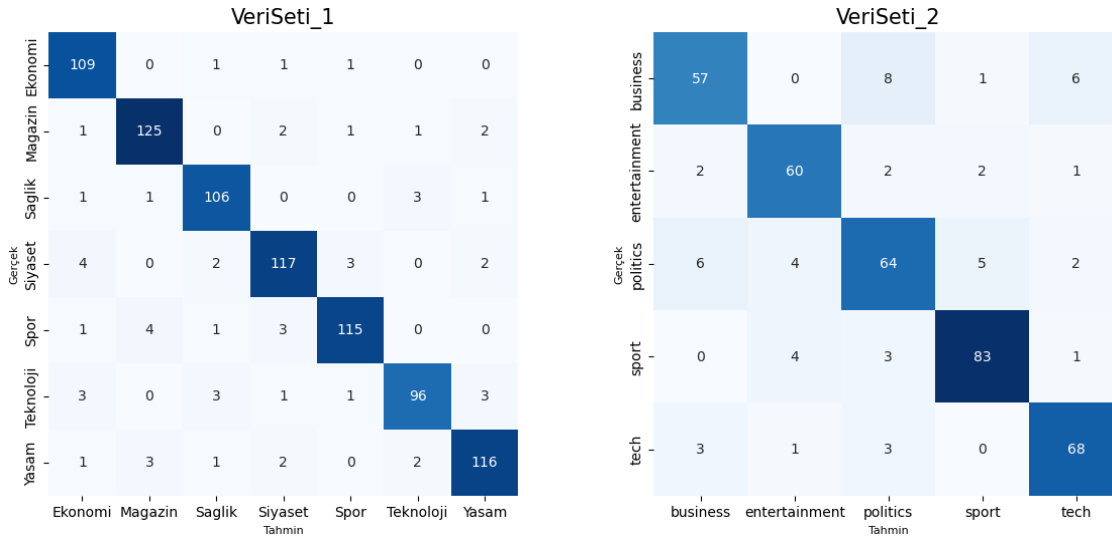
Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301



Şekil 9. GloVe-LSTM doğruluk ve kayıp grafikleri

Tablo 8. Sınıflandırma raporu

Veri Seti	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puamı
Veri_Seti1	0.93	0.95	0.97	0.94
Veri_Seti2	0.86	0.91	0.91	0.91



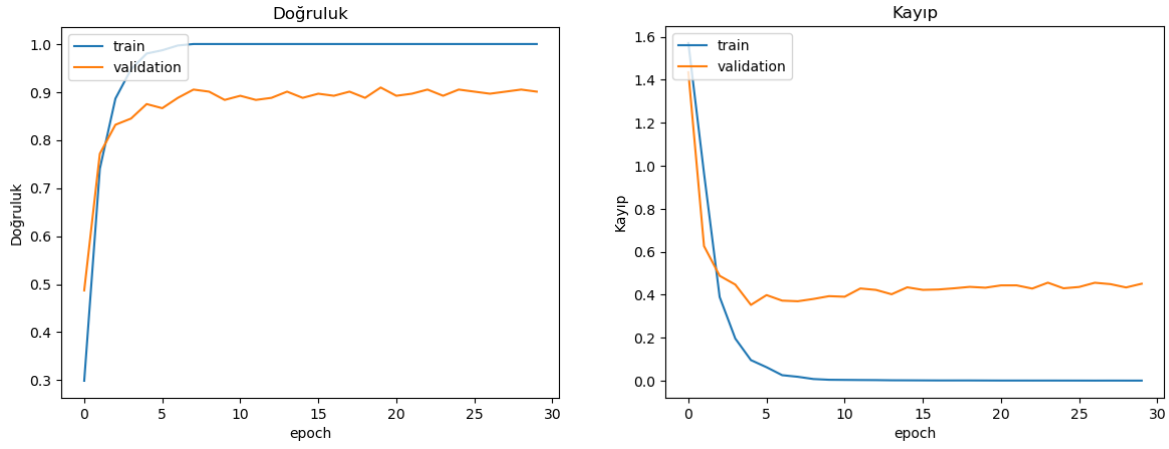
Şekil 10. GloVe-LSTM karmaşıklık matrisi

### GloVe-CNN

Tablo 5’te belirtilen hiper parametreler ile 4 katmanlı olarak tasarlanan GloVe-CNN modelinde 300 boyutlu GloVe kelime yerleştirmesiyle sınıflandırma testi değerlendirmesinin performans sonuçları Tablo 9 ile gösterilmektedir. GloVe-CNN modelinin eğitimi sonunda elde edilen doğruluk değeri VeriSeti\_1 için %89, VeriSeti\_2 için %84 olarak hesaplanmıştır.

GloVe kelime yerleştirmesi ile kullanılan CNN modelinin klasik CNN modelinden daha düşük sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ancak Şekil 11 ile gösterilen doğruluk ve kayıp eğrileri incelendiğinde GloVe-CNN modelinin CNN modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 12’ de modelin karmaşıklık matrisi gösterilmektedir.

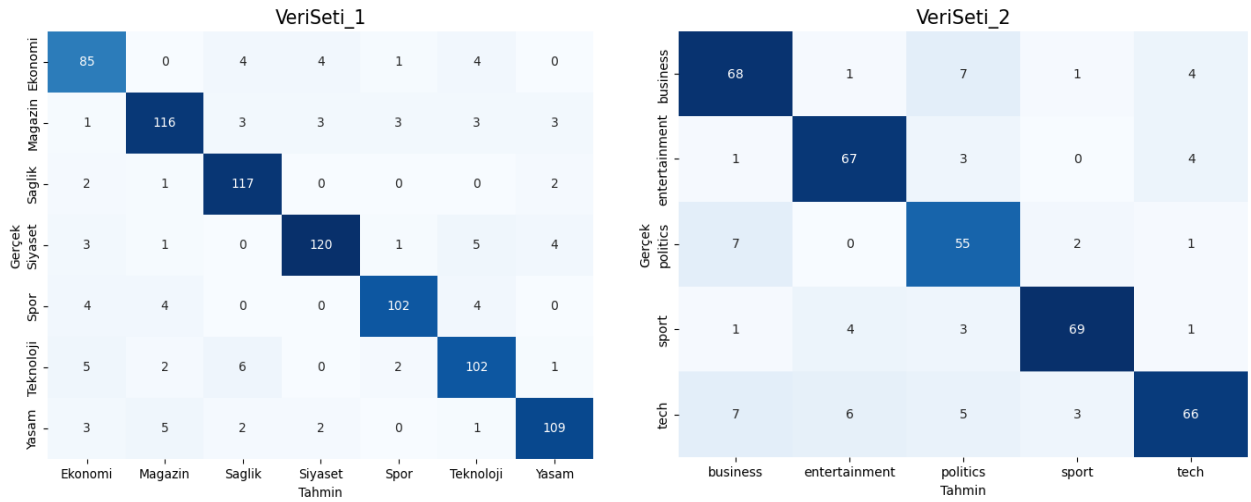
Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1265301



Şekil 11. GloVe-CNN doğruluk ve kayıp grafikleri

Tablo 9. Sınıflandırma raporu

Veri Seti	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puam
Veri_Seti1	0.89	0.94	0.99	0.92
Veri_Seti2	0.84	0.81	0.84	0.82



Şekil 12. GloVe-CNN doğruluk ve kayıp grafikleri

## SONUÇLAR

İçinde bulunduğumuz bilgi çağında, istenilen bilgiye erişim hızlı ve doğru bir biçimde olmalıdır. Büyük miktardaki bilgilerin işlenerek anlamlı ve istenilen hale dönüştürülmesi için metinlerin kategorilerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Haber metinlerinin kategorilerine ayrılmasına yönelik olan bu çalışmada, derin öğrenme ağlarından faydalanılmaktadır. Yapılan çalışma, ön eğitilmiş kelime gömülme sisteminin performansına ne tür

bir katkı sağladığını göstermesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Türkçe haber başlıklarından oluşan veri setinin 7 farklı kategori olarak sınıflandırılması için LSTM, CNN ve GloVe kelime yerleştirmeye tasarlanan GloVe-LSTM ve GloVe-CNN modelleri geliştirilmiş ve performans karşılaştırmaları yapılmıştır. GloVe yönteminin eklenmesiyle LSTM modelinin performansının kayda değer bir şekilde yükseldiği gözlemlenmektedir. Fakat CNN modelinde, Glove yönteminin

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1265301

eklenmesiyle sistemin başarısının düşmesine rağmen GLOVE-CNN modelinin doğruluk ve kayıp eğrilerinin CNN modelinden daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Geliştirilen tüm modellerde nöron sayısı, iterasyon sayısı ve yığın değeri, öğrenme parametresi ve aktivasyon fonksiyonları aynı seçilerek her model aynı şartlarda çalıştırılmıştır. Yapılan deneylerle CNN ve GloVe-CNN modelinin

### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bu makaleyle ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

### ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

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

### KAYNAKLAR

- Aci, Ç. ve Çirak, A. (2019). Türkçe Haber Metinlerinin Konvolüsyonel Sinir Ağları ve Word2Vec Kullanılarak Sınıflandırılması. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 12(3), 219-228. DOI: 10.17671/gazibtd.457917.
- Adalı, E. (2016). Doğal Dil İşleme. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 5 (2).
- Amasyalı, M. F., Diri, B. and Türkoğlu, F. (2006). Farklı Özellik Vektörleri ile Türkçe Dokümanların Yazarlarının Belirlenmesi. 15th Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Network, Muğla, Türkiye.
- Aydoğan, M. ve Karcı, A.(2019a). Turkish Text Classification with Machine Learning and Transfer Learning. 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), Malatya, Turkey, pp. 1-6, doi: 10.1109/IDAP.2019.8875919.
- Aydoğan, M. ve Karcı, A. (2019b). Kelime temsil yöntemleri ile kelime benzerliklerinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2), 181-196.
- Bose, B. (2019). BBC News Classification. Kaggle. <https://kaggle.com/competitions/learn-ai-bbc>
- Darbaş, H. ve Karcı, A. (2020). Graf Benzerliği İle Metin Kıyaslama. Computer Science, 5(2), 114-125 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bbd/issue/57870/7437> 51.
- Diri, B. ve Amasyalı, M.F. (2003). Automatic Author Detection for Turkish Texts, Artificial Neural Networks and Neural Information Processing, 138-141.

tüm modellerden daha üstün performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Geliştirilen modellerin çok daha büyük veri setleri üzerinde gerçekleştirilmesi ve farklı hiper-parametre değerleri ile eğitilerek karşılaştırılması çalışmanın sonraki hedefleri arasında yer almaktadır.

- Doğan, S. ve Diri, B. (2010). Türkçe Dokümanlar İçin N-gram Tabanlı Yeni Bir Sınıflandırma(Ng-ind): Yazar, Tür ve Cinsiyet. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 3, 11–20.
- Hark, C. (2022). Sahte Haber Tespiti için Derin Bağlamsal Kelime Gömülmeleri ve Sinirsel Ağların Performans Değerlendirmesi. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 34(2), 733-742.
- Karakurt, M. (2019). Patoloji Görüntülerinin Derin Öğrenme Yöntemleri İle Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Karakurt, M. ve İşeri, İ. (2022). Patoloji Görüntülerinin Derin Öğrenme Yöntemleri İle Sınıflandırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (33), 192-206.
- Karakurt, M., Oymak, E.A., Hark, H., Erdoğan, M.C. ve Karcı, A. (2022). Karcı Sinir Ağlarının Uygulanması ve Performans Analizi. Computer Science, Vol:7, 68-80.
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W. ve Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. Neural computation, 1(4), 541-551.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y. ve Haffner, P. (1998). Gradientbased learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE, 86(11), 2278-2324.
- Levent, V. ve Diri, B., (2014). Türkçe Dokümanlarda Yapay Sinir ağları ile Yazar Tanıma . Akademik Bilişim (pp.1-5). Mersin, Türkiye.
- McCulloch, W. S. ve Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), 115-133.
- Mikolov T., Chen K., Corrado G. and Dean J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. Proceedings of Workshop at ICLR. Scottsdale, Arizona.
- Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage And Organization in the Brain. Psychological review, 65(6), 386.
- Süzen, A.A., (2019). LSTM Derin Sinir Ağları İle Üniversite Giriş Sınavındaki Matematik Soru Sayılarının Konulara Göre Tahmini, Engineering Sciences (NWSAENS), 14(3):112-118, DOI: 10.12739/NWSA.2019.14.3.1A0436.
- Şeker, S.E., (2015), Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing), YBS Ansiklopedi, 2(4), 2015.



*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI:10.29132/ijpas.1265301

- UCI Machine Learning Repository: Turkish Headlines Dataset Data Set. (2021). Retrieved July 6, 2022, from <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Turkish+Headlines+Dataset>
- Uçkan, T., Hark, C., Seyyarer E. ve Karcı A. (2019). Ağırlıklandırılmış Çizgelerde Tf-Idf ve Eigen Ayırışımı Kullanarak Metin Sınıflandırma. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(4):1349-1362, doi:10.17798/bitlisfen.53122.

## Circularly Polarized High Harmonics in Argon: Dipole and Non-Dipole Effect

Dilan Alp<sup>1</sup>, İlhan Candan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sirnak University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems, Sirnak, Türkiye,

<sup>2</sup>Dicle University, Faculty of Science, Department of Physics, Diyarbakir, Türkiye

dalp@sirnak.edu.tr<sup>ID</sup>, \*ilhan.candan@dicle.edu.tr<sup>ID</sup>

Received date:25.03.2023, Accepted date: 25.05.2023

### Abstract

The interaction of the intense laser pulse, which forms the basis of the strong laser field and non-linear optical physics, with atoms, molecules, and solids leads to the High Order Harmonic Generation (HHG). There are many theoretical and experimental research related to this process defined by the Semi-Classic Model which is called the Three Step Model. In this article, the dipole and non-dipole effects specified in the theoretical Lewenstein model to be used in the Argon atom interacting with the strong circular laser field (800nm) and the resulting higher order harmonic spectrum will be investigated. We compared the results obtained using the non-collinear beams with opposite circular polarizations with those obtained using a single circularly polarized beam or a linearly polarized beam. It could be said that the circular polarization can significantly affect the HHG process in an argon atom exposed to a laser field with 800 nm wavelength and 1015 W/cm<sup>2</sup> intensity.

**Keywords:** Argon, high harmonic generation, dipole, non-dipole

## Argonda Dairesel Polarize Yüksek Harmonikler: Dipol ve Dipol Olmayan Etki

### Öz

Güçlü lazer alanının ve doğrusal olmayan optik fiziğin temelini oluşturan yoğun lazer darbesinin atomlar, moleküller ve katılarla etkileşimi, Yüksek Dereceli Harmonik Üretime (HHG) yol açar. Üç Adım Modeli olarak adlandırılan Yarı Klasik Model ile tanımlanan bu süreçle ilgili birçok teorik ve deneysel araştırma mevcuttur. Bu makalede, güçlü dairesel lazer alanı (800nm) ile etkileşen Argon atomunda kullanılacak teorik Lewenstein modelinde belirtilen dipol ve dipol olmayan etkiler ve bunun sonucunda ortaya çıkan yüksek dereceli harmonik spektrum incelenecektir. Zıt dairesel polarizasyonlara sahip doğrusal olmayan ışınlar kullanılarak elde edilen sonuçları, tek bir dairesel polarize ışın veya doğrusal polarize bir ışın kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırdık. 800 nm dalga boyunda ve 10<sup>15</sup> W/cm<sup>2</sup> yoğunlukta bir lazer alanına maruz bırakılan bir argon atomunda dairesel polarizasyonun HHG sürecini önemli ölçüde etkileyebileceği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Argon, yüksek harmonik üretimi, dipol, dipol olmayan

### INTRODUCTION

The most recent advances in ultrafast spectroscopy technology used in various applications over the last 25 years are sources of high harmonic production and high-resolution imaging of molecules, atoms, and nanostructures (Alp, 2017; Cavalieri et al., 2007; Goulielmakis et al., 2010; Itatani et al., 2004; Li et al., 2008; Marangos et al., 2008).

Higher Order Harmonic Generation (HHG), one of the subjects of nonlinear optical science is one of the fastest-developing research areas in atom-intense laser interaction. In various experimental and theoretical studies, the most basic principle of

understanding the origin of high-order harmonics is defined as a semi-classical three-step model. This model has been a particularly useful description for the ‘cut-off and plateau region’ in the HHG spectrum (Krause, Schafer, and Kulander, 1992). This process is called photoionization. During the process, the electron gets the energy and momentum via the laser field. Initially, the electron gets out atom and is excited into the continuum states, where the electron is free to move and gain energy and momentum from the laser field. The second motion is considered classically and consists primarily of free charge

oscillation which may return near the core and come back to the ground state in the laser field. Once it yields the photon energy that is defined as  $E_{kin} + I_p$ , where  $E_{kin}$  is kinetic energy, and  $I_p$  is ionization potential which may be released.

The harmonic photon energy,  $E_c = 3.2U_p + I_p$ , is given by the cut-off law where  $U_p$  is ponderomotive energy ( $U_p [eV] = E_0^2/4\omega_0^2$ ) (Krause et al., 1992). The cut-off region occurs in the harmonic spectrum at harmonics order which is expressed as  $N_{max} = (3.2U_p + I_p)/\hbar\omega$ . In the third step, the electron is finally ejected from the atom. This photoionization process plays an important role in many areas of physics, including laser-matter interaction, atomic and molecular physics, and quantum optics. It is also used to study the interaction between atoms and light, as well as the structure and dynamics of atoms.

As a result of intense research using linear polarization, it has been observed that the electron's classical trajectories pass through periodically the nucleus, therefore permitting recombination radiatively and harmonics generation. Although great progress has been done in the use of linearly polarized beams that have been made in the high harmonic generation, it was very challenging to directly obtain HHG circularly polarized pulses. In contrast, elliptically polarized pump lasers (or circularly polarized lasers) are strongly suppressed by the possibility of electron collision and therefore do not emit harmonics (Dietrich, Burnett, Ivanov, and Corkum, 1994; Weihe et al., 1995). Recent studies have indicated the production of a high harmonic circular polarized attosecond pulse train which is modified by the deeper physical insight of HHG with the combining of collinear counter-rotating light of different degrees and macroscopic phase matching (Fan et al., 2015; Fleischer, Kfir, Diskin, Sidorenko, and Cohen, 2014; Kfir et al., 2015; Medišauskas, Wragg, Van Der Hart, and Ivanov, 2015). In addition to circular polarization, the HHG process can be influenced by the linear polarized laser field. The polarization state of a laser field influences the electron dynamics and, therefore, the HHG yield and spectral characteristics. This is because the laser field's polarization distresses the tunneling rate of the electrons, which determines the ionization rate and, ultimately, the HHG yield. Polarization is a

fundamental feature of electromagnetic waves and often acts as a significant role in the interaction of light with matter. It is particularly investigated that using circularly polarized short EUV pulses for generating harmonics which are ultra-fast spin dynamics, circular dichroism, chirality allocation magnetic microscopy, and so forth. Various theoretical approaches have been proposed for generating circularly polarized harmonics (Husakou, Kelkensberg, Herrmann, and Vrakking, 2011; D. B. Milošević, Becker, and Kopold, 2000; Yuan and Bandrauk, 2011). For instance, recent studies on the very strong dependence on polarization ellipticity in high harmonic generation require that numerical approximation to intense field ionization to go beyond the current models based on linear polarization (Budil, Salières, L'Huillier, Ditmire, and Perry, 1993; Liang, Angst, Ammosov, and Lazarescu, 1995).

The polarization is not only important to study light-matter interactions over basic optical views, but also a time-varying polarization state, which forms the basis of numerous spectroscopic and harmonics control techniques related to HHG in soft X-ray and XUV spectrum in Attoscience (Brixner et al., 2004; Kerbstadt, Englert, Bayer, and Wollenhaupt, 2017). There are many experimental and theoretical scientific studies used in the generation of harmonics obtained by circular polarization laser field interacting with the matter, for instance, non-adiabatic tunneling by spin-polarized electrons, producing vortex-shaped photoelectron momentum distributions, attosecond control by spin-dissolved recoil dynamics, and examining atto-clock techniques via angular streaking using cold target recoil ion momentum spectroscopy form (Ayuso, Jiménez-Galán, Morales, Ivanov, and Smirnova, 2017; Barth and Smirnova, 2011; Hartung et al., 2016; Herath, Yan, Lee, and Li, 2012; D. Milošević, 2016).

In this study, consequently, the event of interacted circularly polarized beam with an atom that is defined cut-off region in the conventional harmonic spectrum will be shown by reference (Emilio Pisanty et al., 2018) to a different numerical method for generating harmonics.

Here, a proposed simple method will be used to obtain forward ellipticity in the magnetic fields presence that can move along with Lorentz force in the same direction, so that the harmonic emission is

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269696

allowed to equal intensity and wavelength using two non-collinear opposite circular polarized beams.

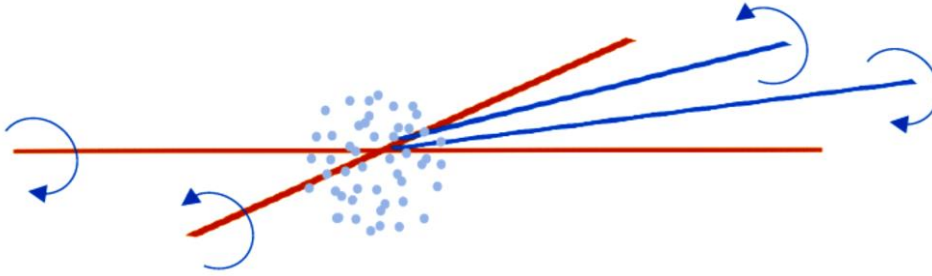


Fig 1. Scheme for two co-linear circular polarized beams generating high harmonics (Hernández-García et al., 2016).

### MATERIAL AND METHODS

To analyze the HHG process in the circularly polarized laser field's presence, it is essential to use a model which accounts for the time-dependent nature of the Lorentz force. One such model is the strong field approximation (SFA), which is built on the assumption that the ionized electron experiences a constant acceleration in the laser field and can be defined by a classical trajectory. The SFA has successfully reproduced the experimental HHG spectra for a wide range of atomic and molecular systems.

Circular polarization is a type of polarization in which the electric field of the electromagnetic wave rotates around the direction of propagation with a constant angular frequency. In this case, the Lorentz force will also rotate around the direction of propagation with a constant angular frequency. This will result in an HHG spectrum that is more complex, with contributions from both dipole and non-dipole transitions. Non-dipole transitions occur when the ionized electron recollides with the atomic core at an angle relative to the direction of the electric field. In HHG, a strong laser field is used to ionize an atom and generate high-energy photons through the recombination of the ionized electron with the atomic core. In the laser field, the circular polarization can affect the HHG process by modifying the Lorentz force experienced by the ionized electron.

Here we take into account the harmonics produced in Argon gas by two opposite circular polarization beams within propagating plane.

### RESULTS AND DISCUSSION

#### Using Strong Field Approximation with Lewenstein Model

In this paper, we use a non-dipole and non-relativistic Strong Field Approximation (SFA) model within Lorentz force  $\vec{F} = \vec{v}/c \times \vec{B}$  which is reduced photon emission (Brennecke and Lein, 2018; D. B. Milošević, Hu, and Becker, 2000). Firstly, we noted that the Hamiltonian is

$$H = \left( \frac{1}{2} \left[ -i\nabla + \vec{A}(\vec{r}, t) \right]^2 + V_0 \right) \quad (1)$$

Considering the HHG in noble gas by two opposite circular polarized propagation wave vectors are

$$\vec{k} = k(\sin(\theta), 0, \cos(\theta)) \quad (2)$$

Then, defined vector potential and determined initial conditions ( $z=0, kx \sin(\theta)=\pi/2$ ) (Emilio Pisanty et al., 2018).

$$\begin{aligned} \vec{A}(\vec{r}, t) &= \sum_{\pm} \frac{F}{2\omega} \begin{pmatrix} \cos(\theta) \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) \\ \pm \sin(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) \\ \sin(\theta) \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) \end{pmatrix} \\ &= \frac{F}{\omega} \begin{pmatrix} \cos(\theta) \cos(kz \cos(\theta) - \omega t) \cos(kx \sin(\theta)) \\ \cos(kz \cos(\theta) - \omega t) \sin(kx \sin(\theta)) \\ -\sin(\theta) \sin(kz \cos(\theta) - \omega t) \sin(kx \sin(\theta)) \end{pmatrix} \quad (3) \end{aligned}$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269696

$$\vec{A}(\vec{r}, t) \approx \frac{F}{\omega} \begin{pmatrix} \cos(kx \sin(\theta)) \\ \sin(kx \sin(\theta)) \\ 0 \end{pmatrix} \cos(\omega t) \quad (4)$$

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = \frac{F}{2\omega} \begin{pmatrix} 0 \\ \cos(\omega t) \\ \sin(\theta) \sin(\omega t) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Transforming length gauge and here define Hamiltonian

$$H = \frac{1}{2}[-i\nabla + \vec{A}(0, t)]^2 + \frac{1}{c} \hat{k} \cdot \hat{r} [-i\nabla + \vec{A}(0, t)] \cdot \vec{F}(t) + V_0 \quad (6)$$

$$H = \frac{1}{2}[\hat{p} + (\hat{r} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A}(0, t)]^2 + \hat{r} \cdot \vec{F}(t) + V_0 \quad (7)$$

Then neglected  $[(\hat{r} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A}(0, t)]^2$  terms in Equation (7) yield final Hamiltonian (Emilio Pisanty et al., 2018)

$$H = \frac{\hat{p}^2}{2} + \hat{r} \cdot \vec{\nabla} \vec{A}(t) \cdot \hat{p} + \hat{r} \cdot \vec{F}(t) + V_0 \quad (8)$$

The harmonic emission calculation due to the above Hamiltonian is as conventional as in the case of dipole and the continuous wave function must be changed to express the non-dipole term. The Equation (9) solution can be stated as a time-dependent Lippmann-Schwinger equation containing the Green function related to  $H(t)$  (Cohen, DuMond, Bethe, and Salpeter, 1957; Reiss, 1980). Lewenstein and co-workers using the SFA approach neglecting dipole moment and the full Green function is replaced by the non-dipole and non-relativistic Volkov state with the Hamiltonian which is described that free electron laser field interacted with ionic core (Lewenstein, Balcou, Ivanov, L’huillier, and Corkum, 1994; Salieres, L’huillier, Antoine, and Lewenstein, 1997).

The SFA approach definition of dipole moment in the strong laser field is

$$d(t) \square \int_{-\infty}^t dt' \int dr dr' \phi_0^*(r, t) r G_V^+(r, t; r', t') H(t) \phi(r', t') + c.c \quad (9)$$

where the  $\phi(r, t) = \phi_0(r) \exp(I_p t)$  is initial eigenstate of Hamiltonian,  $(I_p)$  is ionization potential and  $G_V^+(r, t; r', t')$  is green function. In the dipole approximation Equation (9) has been neglected the ground state depletion (Salieres et al., 1997; Tempea, Geissler, and Brabec, 1999) to account for the component of magnetic field generalized easily by Volkov state is expressed as:

$$|\psi_p^v(t)\rangle = e^{-\frac{1}{2} \int \pi(\vec{p}, \tau)^2 d\tau} |\pi(\vec{p}, t)\rangle \quad (10)$$

where  $\pi(\vec{p}, t)$  momentum at the plane-wave

$$\pi(\vec{p}, t) = p + A(t) + \frac{1}{c} \left[ \vec{p} \cdot \vec{A}(t) + \frac{1}{2} A^2(t) \right] \hat{k} \quad (11)$$

Equation (11) modified monochromatic field and using

$$\int \vec{\nabla} \vec{A} d\tau \sim \frac{k}{\omega} A = \frac{1}{c} A, \quad \pi(\vec{p}, t) = p + A(t) + \int \vec{\nabla} \vec{A}(\tau) \cdot (\vec{p} + \vec{A}(\tau)) d\tau \quad (12)$$

Then harmonic emission can be calculated with the SFA approach by using a non-dipole Volkov state wave function that states dipole in the form of:

$$d(t) \simeq \int_{t_0}^t dt' \int dp d(\pi(p, t)) e^{iS(p, t, t')} F(t') d(\pi(p, t')) + c.c \quad (13)$$

where  $S(p, t, t')$  is

$$S(p, t, t') = I_p(t - t') + \frac{1}{2} \int_{t'}^t \pi(p, t)^2 d\tau \quad (14)$$

In practical terms from the theoretical perspective, the non-dipole Volkov states we employ the basis of Schrödinger equation solution by choosing circular polarization which tends to act in the opposite direction intense laser field. Calculating the harmonic generation by this method is known as a ‘bicircular’ laser field that is superposed of two opposite circular polarization (Long, Becker, and McIver, 1995; D. B. Milošević, Becker, et al., 2000; Emilio Pisanty et al., 2018). This is a general outline of how to model the circular polarization effect on HHG in the SFA using the Lewenstein model and a



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269696

mathematical approach. There are many details and subtleties that would need to be accounted for a more comprehensive treatment, such as the specific form of the atomic potential, the choice of boundary conditions, and the method used to resolve the time-dependent Schrödinger equation (TDSE).

Argon is a heavier atom with a more complex electronic structure compared to lighter atoms such as hydrogen or helium. As a result, argon atoms are more likely to exhibit stronger non-dipole effects in strong laser fields.

The dipole and non-dipole effects for argon atoms can also vary depending on the laser wavelength and intensity. For example, at longer wavelengths or lower intensities, the dipole approximation may be more accurate, whereas at shorter wavelengths or higher intensities, the non-dipole effects can become more pronounced.

In addition, the argon's ionization potential is relatively high (15.76 eV), meaning that it requires a high energy input to ionize an argon atom. This can result in a complex ionization dynamics for argon in strong laser fields, which can further contribute to the non-dipole effects (Wiehle, 2005).

Overall, the non-dipole and dipole effects for argon atoms can be significant in intense laser fields, especially at shorter wavelengths or higher intensities. Understanding these effects is important for accurately modeling and predicting the actions of argon atoms in intense laser fields.

To further analyze the effect of circular polarization on the HHG process in an argon atom illuminated by a laser field with an intensity of  $10^{15}$  W/cm<sup>2</sup> and wavelength of 800 nm, it is useful to compare the HHG spectra obtained for different circular polarizations. This can be done using a mathematical software program such as Mathematica.

To visualize the HHG spectrum for an argon atom irradiated by non-collinear beams with opposite circular polarizations at 800 nm, we could employ Mathematica to plot the harmonic spectrum as the  $n^{\text{th}}$  harmonic order function. The non-dipole and dipole regimes can be identified by comparing the results for different values of  $n$ .

Primally, we demonstrated how to function non-collinear beams with reverse circular polarization

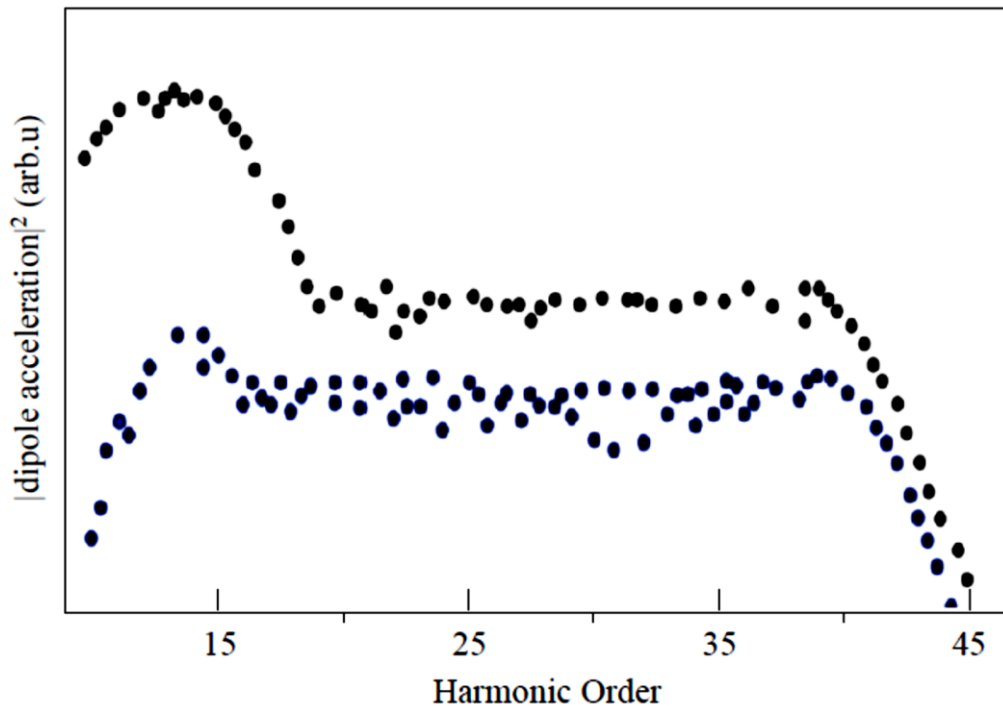
with Mathematica program codes. The program run into non-dipole approximation in the non-collinear strong magnetic field that its implementation is available at references 40 and 41. Fig. 2 shows that harmonic spectrum in non-dipole regime at 800 nm drivers for Argon atom and proposed  $\approx 10^{15}$  W/cm<sup>2</sup> (Hernández-García et al., 2016) intensities with ionization potential 15.7 eV (D. B. Milošević, Becker, et al., 2000) using  $\theta = 4^\circ$  half-angle beam. Finally, z-polarized harmonics eliminated because the region is arbitrary.

For characterizing the several solutions of saddle point approximation to calculate the momentum integral harmonic emission from arbitrary linear beam (D. Milošević and Becker, 2002; E Pisanty, 2016; Emilio Pisanty et al., 2018), in the present paper, we will calculating the harmonic emission rate attained by the saddle-point approximation that are showed in Fig.3. This is of crucial importance of classification of quantum orbit where explained the cut-off and plateau region from our analysis. This numerical analysis data is based on of HHG and ATI (Above Threshold Ionization) processes. In the high intensity show that Fig. 3, the attendance of non-dipole effects origins the intensity to a decrease so re-enables most of the harmonic emission with the effect of circular polarization (at  $\theta = 2^\circ$ ) that causes changing cut-off region.

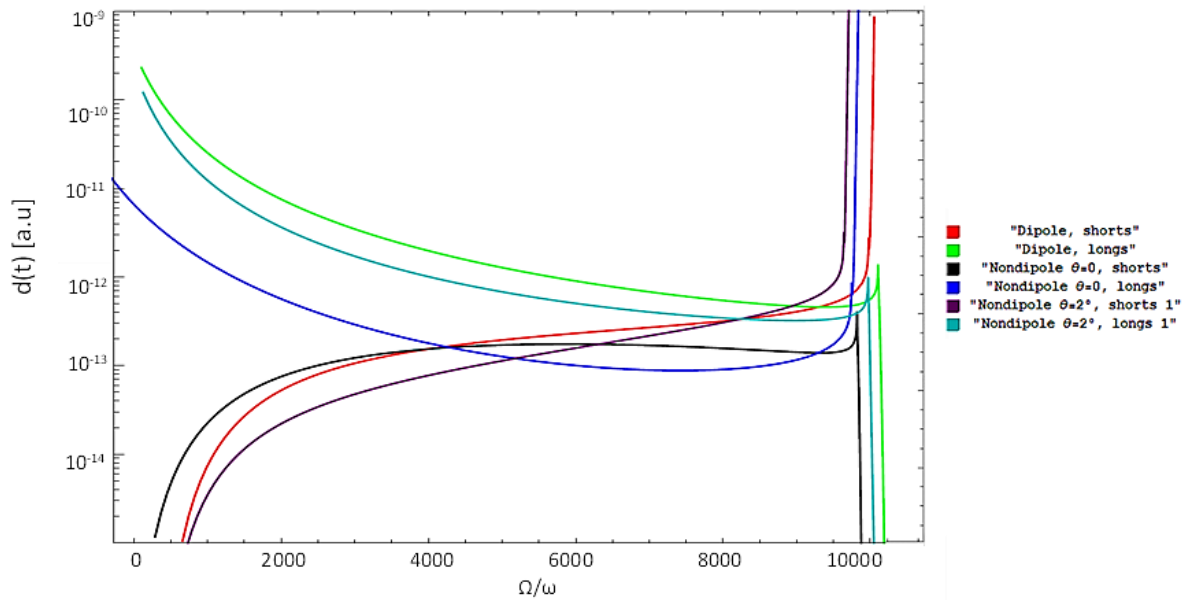
The concepts of saddle points and turning points are related to the discussion of dipole and non-dipole effects in circularly polarized light and above-threshold ionization (ATI) spectra but in slightly different ways.

In the context of ATI spectra, the dipole and non-dipole effects refer to the different mechanisms by which high-energy photoelectrons are generated in circularly polarized light. The dipole effect stems from the interaction of the laser field with the electric dipole moment of the atom or molecule, while the non-dipole effect arises from higher-order multipole moments, such as the electric quadrupole moment. These effects can give rise to different patterns in the distribution of high-energy photoelectrons in the ATI spectrum.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269696



**Fig 2.** Harmonic spectrum (the black dot is odd, and blue is even harmonics) produced in Argon atom at 800 nm in the non-dipole regime for monochromatic laser field.



**Fig 3.** Saddle Points trajectory for an Ar in 800 nm field of  $I = 10^{15}$  W/cm<sup>2</sup> intensity, computed in dipole and non-dipole effect show that cut-off region.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269696

On the other hand, saddle points are critical points for the system's potential energy surface. In the context of ATI spectra, saddle points can be important for understanding the behavior of the system near the ionization threshold. Specifically, near the ionization threshold, the potential energy surface has a saddle point where the system is in a state of unstable equilibrium. At this point, the system can either ionize or return to the ground state, depending on the dynamics of the system.

The non-dipole and dipole effects can influence the behavior of the system near the saddle point by affecting the shape of the potential energy surface. In particular, the dipole effect tends to lower the energy of the saddle point, making it easier for the system to ionize, while the non-dipole effect tends to increase the energy of the saddle point, making it harder for the system to ionize.

Overall, the interplay between dipole and non-dipole effects, and the influence of these effects on the potential energy surface and the behavior of the system near the saddle point, can be vital for considering the dynamics of ionization in circularly polarized light and ATI spectra (E Pisanty, 2016; Emilio Pisanty et al., 2018).

By changing the laser beams' intensity and analyzing the ellipticity effect, it is probable to gain a better understanding of how the laser intensity affects the HHG process in an argon atom. This can provide insight into the optimal intensity for producing high-energy harmonics with a specific degree of circular polarization. In the saddle point trajectory, the dipole approximation assumes that the electron trajectory is in the same direction as the electric field. However, in reality, the electron trajectory can deviate from the direction of the electric field due to the presence of the Coulomb potential of the ion. This deviation results in a shift in the cutoff energy of the spectrum towards higher energies, known as the non-dipole effect.

The non-dipole effect is more pronounced for higher laser intensities, and at shorter laser wavelengths. For an 800 nm laser field with an intensity of  $10^{15}$  W/cm<sup>2</sup>, the non-dipole effect would result in a shift of the cutoff energy towards higher energies, and a broadening of the spectrum. This effect can be accounted for using the modified saddle point approximation, which accounts for the deviation of the electron trajectory from the direction of the electric field.

At an intensity of  $10^{15}$  W/cm<sup>2</sup> and 800 nm wavelength, the non-dipole effects in the spectrum's cut-off region for an argon atom are expected to be significant. The laser field's circular polarization can affect the non-dipole effects by altering the electric field direction and the phase of the laser field. If the circular polarizations of the beams are opposite and the phase angle is  $\pi$ , the non-dipole effects may be reduced, leading to a decrease in the spectrum in the cut-off region. However, it is important to note that the dipole effects, which are proportional to the laser field's intensity, may also contribute to the spectrum at these intensities. The effect of circular polarization on the spectrum in the cut-off region will be based on the relative strengths of the dipole and non-dipole effects, which can vary depending on the angle between the beams and other factors. Furthermore, in the dipole approximation, the spectrum exhibits a strong angular dependence, with a narrow angular distribution of emitted electrons along the laser field's polarization direction. However, in the non-dipole approximation, the angular distribution of emitted electrons becomes broader, with a significant contribution from electrons emitted at angles away from the laser's field polarization direction (Duesterer et al., 2013).

## CONCLUSION

It is also useful to analyze the cut-off region of the HHG spectrum, which corresponds to the maximum energy that can be reached by the ionized electron during the collisional process. The cut-off energy can be calculated using the SFA by evaluating the ionized electron's kinetic energy at the moment of recollision. To do this, it is necessary to solve the classical equation of motion for the ionized electron in the laser field and determine the maximum kinetic energy that can be reached. This can be done using Mathematica by defining the classical equations of motion and solving them numerically. The cut-off energy can then be indicated on the HHG spectrum plot using a vertical line. In summary, circular polarization can significantly affect the HHG process in an argon atom exposed to a laser field with 800 nm wavelength and  $10^{15}$  W/cm<sup>2</sup> intensity.

We compared the results obtained using the non-collinear beams with opposite circular polarizations with those obtained using a single circularly polarized beam or a linearly polarized beam. This can help to assess the beam configuration's influence on the

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269696

HHG process. By performing these analyses, you can gain a deeper understanding of the role of opposite circularly polarized non-collinear beams in HHG and the underlying physical mechanisms at play in the process. By exploring these and other factors, we can gain a better understanding of the HHG process and the influencing factors when using opposite circularly polarized non-collinear beams.

In recent breakthroughs, HHG techniques offer a lot of methods containing that are most commonly used non-collinear beams which are opposite circularly polarized extreme ultraviolet driving laser light. Furthermore, all techniques proposed in the literature for the production of HHG are based on Attosecond science. We summarize the mechanisms of non-collinear HHG and evaluate the HHG spectrum for Argon atom interacted with 800 nm circular intense laser field. The plateau and cut-off regions change dependence on the non-dipole effect. In the plateau regions, polarization calculation remains more smoothly connected to the field intensity of the harmonic phase, while the cut-off region maintains perfectly in the HHG spectrum. To conclude, we note that the results of numerical calculation propose and analyze different schemes of HHG.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research has been supported by Şırnak University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: 2019.FNAP.06.03.01, 2019. A part of this work was presented at the Turkish Physical Society's 35<sup>th</sup> International Physics Congress.

#### 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

- Alp, D. (2017). Super Intensity Laser Fields Interacted with Atomic System in Multiphoton Processes: Non-Dipole and Non-Relativistic Effects. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 1-9.
- Ayuso, D., Jiménez-Galán, A., Morales, F., Ivanov, M. and Smirnova, O. (2017). Attosecond control of spin polarization in electron-ion recollision driven by intense tailored fields. *New Journal of Physics*, 19(7), 073007.
- Barth, I. and Smirnova, O. (2011). Nonadiabatic tunneling in circularly polarized laser fields: Physical picture and calculations. *Physical Review A*, 84(6), 063415.
- Brennecke, S. and Lein, M. (2018). High-order above-threshold ionization beyond the electric dipole approximation: Dependence on the atomic and molecular structure. *Physical Review A*, 98(6), 063414.
- Brixner, T., Krampert, G., Pfeifer, T., Selle, R., Gerber, G., Wollenhaupt, M., Graefe, O., Horn, C., Liese, D. and Baumert, T. (2004). Quantum control by ultrafast polarization shaping. *Physical review letters*, 92(20), 208301.
- Budil, K., Salières, P., L'Huillier, A., Ditmire, T. and Perry, M. (1993). Influence of ellipticity on harmonic generation. *Physical Review A*, 48(5), R3437.
- Cavaliere, A.L., Müller, N., Uphues, T., Yakovlev, V.S., Baltuska, A., Horvath, B., Schmidt, B., Blümel, L., Holzwarth, R., Hendel, S., Drescher, M., Kleineberg, U., Echenique, P.M., Kienberger, R., Krausz, F. and Heinzmann, U. (2007). Attosecond spectroscopy in condensed matter. *Nature*, 449(7165), 1029-1032.
- Cohen, E. R., DuMond, J. W., Bethe, H. and Salpeter, E. (1957). *Quantum Mechanics of One-and Two-Electron Systems*. *Atoms I/Atome I*, 88-436.
- Dietrich, P., Burnett, N. H., Ivanov, M. and Corkum, P. B. (1994). High-harmonic generation and correlated two-electron multiphoton ionization with elliptically polarized light. *Physical Review A*, 50(5), R3585.
- Duesterer, S., Rading, L., Johnsson, P., Rouzee, A., Hundertmark, A., Vrakking, M. J. J., Radcliffe, P., Meyer, M., Kazansky, A. K. and Kabachnik, N. M. (2013). Interference in the angular distribution of photoelectrons in superimposed XUV and optical laser fields. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 46(16), 164026.
- Fan, T., Grychtol, P., Knut, R., Hernández-García, C., Hickstein, D. D., Zusin, D. and Hogle, C. W. (2015). Bright circularly polarized soft X-ray high harmonics for X-ray magnetic circular dichroism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(46), 14206-14211.
- Fleischer, A., Kfir, O., Diskin, T., Sidorenko, P. and Cohen, O. (2014). Spin angular momentum and tunable polarization in a high-harmonic generation. *Nature Photonics*, 8(7), 543-549.
- Goulielmakis, E., Loh, Z.-H., Wirth, A., Santra, R., Rohringer, N., Yakovlev, V. S. and Kling, M. F. (2010). Real-time observation of valence electron motion. *Nature*, 466(7307), 739-743.
- Hartung, A., Morales, F., Kunitski, M., Henrichs, K., Laucke, A., Richter, M. and Schmidt, L. P. H. (2016).



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269696

- Electron spin polarization in strong-field ionization of xenon atoms. *Nature Photonics*, 10(8), 526-528.
- Herath, T., Yan, L., Lee, S. K. and Li, W. (2012). Strong-field ionization rate depends on the sign of the magnetic quantum number. *Physical Review Letters*, 109(4), 043004.
- Hernández-García, C., Durfee, C. G., Hickstein, D. D., Popmintchev, T., Meier, A., Murnane, M. M. and Becker, A. (2016). Schemes for generation of isolated attosecond pulses of pure circular polarization. *Physical Review A*, 93(4), 043855.
- Husakou, A., Kelkensberg, F., Herrmann, J. and Vrakking, M. (2011). Polarization gating and circularly-polarized high harmonic generation using plasmonic enhancement in metal nanostructures. *Optics Express*, 19(25), 25346-25354.
- Itatani, J., Levesque, J., Zeidler, D., Niikura, H., Pépin, H., Kieffer, J.-C. and Villeneuve, D. M. (2004). Tomographic imaging of molecular orbitals. *Nature*, 432(7019), 867-871.
- Kerbstadt, S., Englert, L., Bayer, T. and Wollenhaupt, M. (2017). Ultrashort polarization-tailored bichromatic fields. *Journal of Modern Optics*, 64(10-11), 1010-1025.
- Kfir, O., Grychtol, P., Turgut, E., Knut, R., Zusin, D., Popmintchev, D. and Fleischer, A. (2015). Generation of bright phase-matched circularly-polarized extreme ultraviolet high harmonics. *Nature Photonics*, 9(2), 99-105.
- Krause, J. L., Schafer, K. J. and Kulander, K. C. (1992). High-order harmonic generation from atoms and ions in the high-intensity regime. *Physical Review Letters*, 68(24), 3535.
- Lewenstein, M., Balcou, P., Ivanov, M. Y., L'huillier, A. and Corkum, P. B. (1994). Theory of high-harmonic generation by low-frequency laser fields. *Physical Review A*, 49(3), 2117.
- Li, W., Zhou, X., Lock, R., Patchkovskii, S., Stolow, A., Kapteyn, H. C. and Murnane, M. M. (2008). Time-resolved dynamics in N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> probed using high harmonic generation. *Science*, 322(5905), 1207-1211.
- Liang, Y., Angst, S., Ammosov, M. and Lazarescu, S. (1995). S. L. Chin Experimental investigation of ellipticity dependence of high-harmonic generation and ionization in argon in the multiphoton regime. *J. Phys. B*, 28, 2757.
- Long, S., Becker, W. and McIver, J. (1995). Model calculations of polarization-dependent two-color high-harmonic generation. *Physical Review A*, 52(3), 2262.
- Marangos, J. P., Baker, S., Kajumba, N., Robinson, J. S., Tisch, J. W. and Torres, R. (2008). Dynamic imaging of molecules using high-order harmonic generation. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 10(1), 35-48.
- Medišauskas, L., Wragg, J., Van Der Hart, H. and Ivanov, M. Y. (2015). Generating isolated elliptically polarized attosecond pulses using bichromatic counterrotating circularly polarized laser fields. *Physical Review Letters*, 115(15), 153001.
- Milošević, D. (2016). Possibility of introducing spin into attoscience with spin-polarized electrons produced by a bichromatic circularly polarized laser field. *Physical Review A*, 93(5), 051402.
- Milošević, D. and Becker, W. (2002). Role of long quantum orbits in high-order harmonic generation. *Physical Review A*, 66(6), 063417.
- Milošević, D. B., Becker, W. and Kopold, R. (2000). Generation of circularly polarized high-order harmonics by two-color coplanar field mixing. *Physical Review A*, 61(6), 063403.
- Milošević, D. B., Hu, S. and Becker, W. (2000). Quantum-mechanical model for ultrahigh-order harmonic generation in the moderately relativistic regime. *Physical Review A*, 63(1), 011403.
- Pisanty, E. (2016). RB-SFA: High harmonic generation in the strong field approximation via mathematica. In.
- Pisanty, E., Hickstein, D. D., Galloway, B. R., Durfee, C. G., Kapteyn, H. C., Murnane, M. M. and Ivanov, M. (2018). High harmonic interferometry of the Lorentz force in strong mid-infrared laser fields. *New Journal of Physics*, 20(5), 053036.
- Reiss, H. R. (1980). Effect of an intense electromagnetic field on a weakly bound system. *Physical Review A*, 22(5), 1786.
- Salieres, P., L'huillier, A., Antoine, P. and Lewenstein, M. (1997). Study of the spatial and temporal coherence of high-order harmonics. arXiv preprint quant-ph/9710060.
- Tempea, G., Geissler, M. and Brabec, T. (1999). Phase sensitivity of high-order harmonic generation with few-cycle laser pulses. *JOSA B*, 16(4), 669-673.
- Weihe, F., Dutta, S., Korn, G., Du, D., Bucksbaum, P. and Shkolnikov, P. (1995). Polarization of high-intensity high-harmonic generation. *Physical Review A*, 51(5), R3433.
- Wiehle, R. (2005). Experimental examination of ionization processes of noble gases in strong laser fields. Ph. D. thesis, Albert Ludwigs Universität, Freiburg.
- Yuan, K.-J. and Bandrauk, A. D. (2011). Circularly polarized molecular high-order harmonic generation in H<sup>2+</sup> with intense laser pulses and static fields. *Physical Review A*, 83(6), 063422.





## Bulanık Topolojik Uzayların Toplamları Üzerine

Arife Atay<sup>1\*</sup>, Farah Alşibli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye

arifea@dicle.edu.tr , farahsalih1990@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:23.03.2023, Makale kabul tarihi:30.05.2023

### Öz

Tamamen ikili değerlendirmeye dayanan bir matematiksel modelleme olan klasik mantıkta her değer için sadece iki durum vardır, 1 sembolünün verildiği ve doğru anlamına gelen ilk durum ile 0 sembolünün verildiği ve yanlış anlamına gelen ikinci durum. Ancak gerçek bundan daha geniştir ve yalnızca 0 ve 1 olmak üzere iki duruma bağlı olmayabilir. Bu nedenle, yaklaşık veya spesifik olmayan bilgileri temsil etme problemini çözmek için genel çerçeveyi sağlayan yeni bir mantığa ihtiyaç duyulmuştur. Bulanık mantık adı verilen bu mantık ilk olarak 1965 yılında İranlı bilim adamı Lutfi Zadeh, tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık mantık, sıcak, soğuk, ılık, az, çok, gibi deyimler ve belirsiz ifadeler aracılığıyla tündengelim üzerine kuruludur. Çalışma boyunca, bulanık mantığın klasik mantığın bir genişlemesi olduğu sonucuna varılmıştır. Klasik mantık, üyelik derecesi  $\{0,1\}$  kümesi olduğunda, bulanık mantığın özel bir durumudur. Bulanık mantık sadece kümeler teorisinde değil, yapay zekâda, gelişmiş elektronik cihazlarda, endüstriyel kontrolörlerde ve hatta günlük hayatımızda büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada başlangıç olarak bulanık küme, bulanık küme türleri ve bunlarla ilgili önemli cebirsel işlemler ile bulanık topolojik uzayların tanıtılması ve özelliklerinin incelenmesi konu başlıklarına yer verilmiştir. Sonrasında bulanık topolojik uzayların toplamları üzerinde, açık kümeler, kaplı kümeler, iç, kapanış, taban, komşuluklar ve süreklilik gibi ifadeler tanımlanmıştır. Tanımlanan bu topolojik toplamlar için elde edilen bazı sonuçlardan bahsedilmiştir. Bu çalışmadan sonra incelenmesi planlanan araştırma alanı hakkında okuyucu sonuçlar başlığı altında bilgilendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık kümeler, bulanık topoloji, topolojik toplam

## On Sum of Fuzzy Topological Spaces

### Abstract

In classical logic, which is purely a mathematical modeling based on binary evaluation, there are only two cases for each value, the first case where the symbol 1 is given and means true, and the second case where the symbol 0 is given and means false. But the truth is broader than that and may not depend solely on two states 0 and 1. Therefore, a new logic was needed that provides the general framework to solve the problem of representing approximate or nonspecific information. This logic, called fuzzy logic, was first put forward by Iranian scientist Lutfi Zadeh in 1965. Fuzzy logic is based on deduction through idioms such as hot, cold, warm, less, more, and indefinite expressions. Throughout the study, it is concluded that fuzzy logic is an extension of classical logic. Classical logic is a special case of fuzzy logic, when the membership degree is  $\{0,1\}$  set, Fuzzy logic has great importance not only in set theory, but also in artificial intelligence, advanced electronic devices, industrial controllers and even in our daily life. In this study, initially fuzzy set, fuzzy set types and important algebraic operations related to them, introducing fuzzy topological spaces and examining their properties are given. Then, on the sums of fuzzy topological spaces, expressions such as open sets, covered sets, interior, closure, base, neighborhoods and continuity are defined. Some results obtained for these defined topological sums are mentioned. After this study, the reader was informed about the research area planned to be examined under the heading of conclusions.

**Keywords:** Fuzzy sets, fuzzy topology, topological sum.

### GİRİŞ

Klasik mantıkla ifade edilemeyen bazı problemlerin varlığı ve aynı zamanda bilimsel gelişmeler, matematikçileri yeni matematiksel modeller ve araçlar kullanmaya yöneltmiştir. Bu tür problemlere

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269744

çözüm bulmak için matematik alanında birçok teori sunulmuştur. Bu nedenle matematikçiler sürekli olarak yeni teoriler üretme ihtiyacı duymuşlardır. Bu teorilerden biri, 1965 yılında Zadeh (Zadeh, 1965) tarafından ortaya atılan bulanık küme kavramıdır. Bulanık küme teorisi, uzman sistemler, karar verme, modelleme, sosyal bilimler, tıbbi teşhis vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok farklı alanda kullanılmasının yanı sıra COVID-19 hastalarının belirlenmesinde de uygulama alanlarına sahiptir. Son dönemde tüm insanlığın yakından takip ettiği bulanık küme teorisi üzerine matematik alanında da pek çok çalışma bulunmaktadır ve bu birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir.

Bulanık küme teorisine dayanarak, 1968'de Chang (Chang, 1968) tarafından bir bulanık topoloji tanımı verildi. Ancak bu tanımla sabit fonksiyonlar sürekli olamamaktadır. Bu nedenle, Chang'ın tanımından farklı olarak, sabit fonksiyonları da sürekli kılacak daha doğal bir bulanık topoloji tanımı 1976'da Lowen (Lowen, 1976) tarafından verildi. Chang, bulanık küme teorisini topolojiye uyguladığından beri, birçok topolojik kavram bulanık bir ortamda tanımlandı (Ming ve Ming 1980, Ying-ming ve Mao-kang (1998), Shostak, (1996), Shostak, (1989), Palaniappan, (2002)). Bulanık kümelerle ilgili güncel çalışmalardan biri (Al-shami ve Mhemdi, 2023) adlı bir makaledir. Bu makalede, " $(m, n)$ -Fuzzy kümeler" adı verilen ortoçiftler (ayrık küme çiftleri) bulanık kümeler için genelleştirilmiş bir çerçeve sunulmaktadır.  $(m, n)$ -Fuzzy kümeler için bazı işlemler verilmiş ve karakterize edilmiştir. Daha sonra esnek hesaplamada geniş bir çalışma alanına sahip olan toplama operatörleri yöntemi  $(m, n)$ -Fuzzy kümeler yardımıyla genişletilmiştir.

Bu çalışmada, ön bilgi olarak, bulanık küme teorisindeki bazı temel tanımları ve sonuçları veriyoruz. Bu ön bilgileri verdikten sonra bulanık topolojinin tanımını veriyoruz. 2010 yılında A. Atay (Atay, 2010) tarafından topolojik uzayların toplamı, 2020 yılında ise Al-shami ve diğerleri (Al-shami vd., 2020) tarafından esnek (soft) topolojik uzayların toplamı ve bulanık esnek topolojik uzayların toplamı A. Atay (Atay, 2023) tarafından çalışılmış ve Kerre ve diğerleri 1984 yılında (Kerre vd., 1984) bulanık topolojik toplamlara bir giriş yapmıştır. Ancak bulanık topolojik uzayların toplamı ile ilgili ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır.

Kerre ve diğerleri 1984 yılında (Kerre vd., 1984) yayınladıkları makalede bulanık topolojik uzayların toplamının tanımını vererek alt uzaylar ile

ilişkisinden bahsetmiş ve kompaktlık, sayılabilirlik gibi bazı topolojik özelliklerin topolojik toplamı oluşturan uzaylardan toplam uzayına korunarak geçip geçmediğini araştırılmıştır. Ayrıca bu makalede topolojik toplam uzayında ayırma aksiyomları incelenmiştir.

Biz bu çalışma ile öncelikle, bulanık topolojik uzayların serbest bileşimini ve ardından bulanık topolojik uzayların toplamını vererek bunlar arasındaki ilişkiden bahsettik. Amacımız ikişer ikişer ayrı bulanık topolojik uzaylar kullanılarak oluşturulan bulanık topolojik uzayların toplamı kavramını tanıtmak ve bu toplamın sağladığı özellikleri keşfetmektir. Sonuçlarımız, bulanık topolojik uzaylarda bulanık komşuluk, bulanık açık-kapalı küme, bulanık taban gibi topolojik kavramların bulanık topolojik uzayların toplamında nasıl tanımlandığını ve ilgili önerme ve teoremleri içermektedir. Ayrıca açıklayıcı birçok örnek verilmiştir. Ek olarak, bulanık topolojik uzayların toplam uzayında bulanık iç ve bulanık kapanış operatörleri ele alınmıştır. Ayrıca, hangi durumda bir bulanık topolojik uzayın bazı bulanık topolojik uzayların toplamını temsil ettiği açıklanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu bölümde bulanık küme teorisinde yer alan kavramlar tanımlanacaktır. Bu kavramlar genel olarak klasik kümelerde bildiğimiz kavramların birer genelleştirmesidir.

**Tanım:**  $X \neq \emptyset$ ,  $A \subseteq X$  kümeleri ve  $F_A: X \rightarrow [0,1]$  fonksiyonu için sıralı ikililerinin bir kümesi olarak gösterilen  $F_A = \{ (x, F_A(x)): x \in X \}$  şeklindeki  $F_A$  kümesine  $X$ 'in bulanık alt kümesi ve  $F_A(x)$  değerine  $x$  elemanına ait üyelik derecesi denir (Zadeh, 1965). Bulanık kümeler kısaca  $F_A, G_B$  veya  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  gibi semboller ile gösterilecektir.  $X$  kümesinin bütün bulanık alt kümelerinin ailesi ise  $I = [0,1]$  olmak üzere  $I^X$  ile gösterilecektir.

**Tanım:** Sabit bulanık küme,  $\forall x \in A$  ve  $0 \leq \alpha \leq 1$  için  $C = \{ (x, F_A(x)): F_A(x) = \alpha, x \in A \}$  şeklinde tanımlanan bulanık kümedir ve kısaca  $F_\alpha$  ile gösterilecektir (Dobois ve Prade, 1980).

**Örnek 1:**  $X = \{1,2,3,4,5,6\}$  evrensel küme ve  $A = \{4,5,6\} \subseteq X$  verilsin. O zaman 6 elemanı  $A'$ 'ya tam üyedir ve 2 elemanı  $A$ 'nın üyesi değildir. Bu durumda

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

$A$  kümesi bulanık küme olarak  $F_A = \{(1,0), (2,0), (3,0), (4,1), (5,1), (6,1)\}$  ile ifade edilir.

**Tanım:**  $F_A$  ve  $G_A$  bulanık kümeleri eşittir ancak ve ancak  $\forall x \in X$  için  $F_A(x) = G_A(x)$  sağlanır (Zadeh, 1965).

Bundan sonra  $\forall x \in X$  için  $F_A(x) = G_A(x)$  yazmak yerine daha çok, benzer şey olan  $F_A = G_A$  yazılacaktır.

**Tanım:** Bir  $F_A$  bulanık kümesinin tümleyeni  $F_A'$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu  $\forall x \in A$  için:  $F_A'(x) = 1 - F_A(x)$  ile verilir (Zadeh, 1965).

**Tanım:**  $F_A$  nın  $G_A$  da kapsanması (veya denk oklarak,  $F_A$  nın  $G_A$  nın bir alt kümesi olması) için gerek ve yeter şart  $\forall x \in A$  için,  $F_A(x) \leq G_A(x)$  olmasıdır. Bu durum sembollerle  $F_A \subseteq G_A \Leftrightarrow F_A \leq G_A$  şeklinde gösterilir (Zadeh, 1965).

**Tanım:** Sırasıyla,  $F_A(x)$  ve  $G_B(x)$  üyelik fonksiyonlarına sahip olan  $F_A$  ve  $G_B$  bulanık kümelerinin birleşimi,  $C = A \cup B$  olmak üzere üyelik fonksiyonu  $H_C(x) = \max\{F_A(x), G_B(x)\}$ ,  $x \in X$  olarak tanımlanan bir  $H_C$  bulanık kümesidir ve kısaca  $H_C = F_A \vee G_B$  şeklinde yazılır (Zadeh, 1965).  $F_A$  ve  $G_B$  nin birleşimi, hem  $F_A$  hem de  $G_B$  yi kapsayan en küçük bulanık kümedir.

**Tanım:** Sırasıyla  $F_A(x)$  ve  $G_B(x)$  üyelik fonksiyonlarına sahip olan  $F_A$  ve  $G_B$  bulanık kümesinin arakesiti, üyelik fonksiyonu  $H_C(x) = \min\{F_A(x), G_B(x)\}$ ,  $x \in X$  ile bir  $H_C$  bulanık kümesidir ve kısaca  $H_C = F_A \wedge G_B$  olarak yazılır (Zadeh, 1965).  $F_A$  ve  $G_B$  bulanık kümelerinin arakesiti  $F_A$  ile  $G_B$  de kapsanan en büyük bulanık kümedir. Eğer  $F_A \wedge G_B = \emptyset$  ise  $F_A$  ve  $G_B$  bulanık kümeleri ayrıktır denir.

**Tanım:**  $F_A$  bir bulanık küme ve  $\alpha \in [0,1] \subseteq \mathbb{R}$  olsun.  $F_A$  nın  $\alpha$ -kesiti  $F_A^\alpha$  şeklinde ifade edilir ve  $F_A^\alpha = \{x \in X : F_A(x) \geq \alpha\}$  ile tanımlıdır (Zadeh, 1965).

**Örnek 2:**  $X = \{1,2,3,4,5\}$  kümesi üzerinde  $F_A = \{(1,0.5), (2,1), (5,0.7)\}$  ve  $G_B = \{(1,0.6), (4,1), (5,0.4)\}$  bulanık kümeleri verilsin. Buna göre,

$$F_A \vee G_B = \{(1,0.6), (2,1), (4,1), (5,0.7)\}$$

$$F_A \wedge G_B = \{(1,0.5), (5,0.4)\}$$

$$F_{A'} = \{(1,0.5), (2,0), (3,1), (4,1), (5,0.3)\}$$

$$G_{B'} = \{(1,0.4), (2,1), (3,1), (4,0), (5,0.6)\}$$

bulunur.

**Teorem:**  $F_A, G_B$  ve  $H_C$  bulanık kümeler olmak üzere aşağıdaki ifadeler sağlanır.

- i.  $[(F_A)']' = F_A$ ,
- ii.  $(F_A \vee G_B)' = F_A' \wedge G_B'$  ve  $(F_A \wedge G_B)' = F_A' \vee G_B'$ ,
- iii.  $F_A \vee G_B = G_B \vee F_A$  ve  $F_A \wedge G_B = G_B \wedge F_A$ ,
- iv.  $(F_A \vee G_B) \vee H_C = F_A \vee (G_B \vee H_C)$  ve  $(F_A \wedge G_B) \wedge H_C = F_A \wedge (G_B \wedge H_C)$ ,
- v.  $F_A \wedge (G_B \vee H_C) = (F_A \wedge G_B) \vee (F_A \wedge H_C)$
- vi.  $F_A \vee (G_B \wedge H_C) = (F_A \vee G_B) \wedge (F_A \vee H_C)$
- vii.  $F_A \vee (F_A \wedge G_B) = F_A$  ve  $F_A \wedge (F_A \vee G_B) = F_A$
- viii.  $F_A \wedge F_A = F_A$  ve  $F_A \vee F_A = F_A$
- ix.  $F_A \vee \emptyset = F_A$

**İspat:** Bulanık küme ve üyelik fonksiyonunu tanımları kullanılarak bu ifadelerin doğruluğu rahatlıkla gösterilir.

**Uyarı:** Kalsik kümelerde sağlanan  $A \cap A' = \emptyset$  ve  $A \cup A' = X$  özellikleri bulanık kümelerde sağlanmaz. Yani  $F_A \neq \emptyset$  için  $F_A \wedge F_A' \neq \emptyset$  ve  $F_A \vee F_A' \neq X$  dir. Gerçekten  $F_A \neq \emptyset$  olduğundan  $\exists x \in A$  için  $F_A(x) \neq 0$  olur. Buradan  $\exists x \in A$  için,

$$(F_A \wedge F_A')(x) = \min\{F_A(x), 1 - F_A(x)\} \neq 0$$

$$(F_A \vee F_A')(x) = \max\{F_A(x), 1 - F_A(x)\} \neq 1$$

elde edilir (Dobois ve Prade, 1980).

### Bulanık Topolojik Uzaylar:

$X$  boştan farklı bir küme,  $I = [0,1]$  kaplı aralığı ve  $F_A = \{(x, F_A(x)) : x \in X\} \subseteq I^X$  bulanık alt kümesi verilsin.  $\forall x \in X$  için bulanık boş küme ve bulanık evrensel küme sırasıyla,

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

$$0_X: X \rightarrow I, x \rightarrow 0_x(x) = 0$$

$$1_X: X \rightarrow I, x \rightarrow 1_x(x) = 1$$

ile tanımlıdır.

**Tanım:**  $X \neq \emptyset$ ,  $\tau \subseteq I^X$  ve  $F_A, G_B \in I^X$  olarak verilsin.

- i.  $0_X, 1_X \in \tau$
- ii.  $F_A, G_B \in \tau \Rightarrow F_A \wedge G_B \in \tau$
- iii.  $\forall i \in J, F_{A_i} \in \tau \Rightarrow \bigvee F_{A_i} \in \tau$

koşullarını sağlayan  $\tau$  ailesine  $X$  üzerinde bir bulanık topoloji denir. Böylece  $(X, \tau)$  ikilisine bulanık topolojik uzay ve  $\tau$  ailesinin elemanlarına da bulanık açık kümeler denir. Tümleyen bulanık açık olan kümeye ise bulanık kapalı küme denir (Chang, 1968).

$X$  in bütün bulanık alt kümelerini içeren aile bir bulanık topolojidir ve ayrık bulanık topoloji adını alır. Ayrıca sadece  $0_X, 1_X$  bulanık kümelerini içeren aile de bir bulanık topolojidir ve ayrık olmayan bulanık topoloji adını alır (Lowen, 1976).

**Tanım:**  $\tau$  ve  $\tau'$  bulanık topolojiler olmak üzere eğer  $\tau \leq \tau'$  oluyorsa  $\tau$  ya  $\tau'$  den daha kaba ve  $\tau'$  topolojisine de  $\tau$  dan daha incedir denir (Lowen, 1976).

**Önerme:**  $X$  kümesinde tanımlı bulanık topolojilerin her hangi arakesiti de  $X$  üzerinde bir bulanık topolojidir ama birleşim genel olarak olmaz.

**Örnek 4:**  $X$  üzerinde herhangi bir  $F_A$  bulanık kümesi için  $\tau = \{0_X, 1_X, F_A\}$  ailesi bir bulanık topolojidir ve  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayıdır.

**Tanım:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $F_A \in I^X$  olsun. Bu durumda  $(F_A)^o = \bigvee \{U: U \subseteq F_A, U \in \tau\}$  şeklinde tanımlanan  $(F_A)^o$  bulanık kümesine,  $F_A$  bulanık kümesinin içi denir (Lowen, 1976).

**Teorem:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $F_A \in I^X$  olsun. Bu durumda  $F_A \in \tau \Leftrightarrow F_A = (F_A)^o$  sağlanır.

**İspat:**  $F_A$  bulanık açık olsun.  $F_A$  bulanık kümesinin her bir elemanı için,  $F_A$  bulanık açık olduğundan  $x \in F_A \subseteq F_A$  yazılabilir. Yani  $F_A$  bulanık kümesinin her

bir elemanı iç nokta olur. Bu da  $F_A = (F_A)^o$  olduğunu gösterir.

Tersine  $F_A = (F_A)^o$  olsun.  $(F_A)^o$  bulanık açık olduğundan  $F_A$  bulanık açık olur.

**Örnek 5:**  $X = \{a, b, c\}$  evrensel kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler

$$\alpha = \{(a, 0.8), (b, 0.9), (c, 0.7)\},$$

$$\beta = \{(a, 0.6), (b, 0.5), (c, 0.4)\}$$

$$\gamma = \{(a, 0.3), (b, 0.3), (c, 0.2)\}$$

ile verilsin. Bu durumda  $\tau = \{0_X, 1_X, \alpha, \beta, \gamma\}$  ailesi bulanık topoloji olur. Gerçekten,

$$\alpha \wedge \beta = \{(a, 0.6), (b, 0.5), (c, 0.4)\} = \beta \in \tau$$

$$\alpha \wedge \gamma = \{(a, 0.3), (b, 0.3), (c, 0.2)\} = \gamma \in \tau$$

$$\beta \wedge \gamma = \{(a, 0.3), (b, 0.3), (c, 0.2)\} = \gamma \in \tau$$

$$\alpha \vee \beta = \{(a, 0.8), (b, 0.9), (c, 0.7)\} = \alpha \in \tau$$

$$\alpha \vee \gamma = \{(a, 0.8), (b, 0.9), (c, 0.7)\} = \alpha \in \tau$$

$$\beta \vee \gamma = \{(a, 0.6), (b, 0.5), (c, 0.4)\} = \beta \in \tau$$

olur. Ayrıca,

$$\alpha \vee \beta \vee \gamma = \{(a, 0.8), (b, 0.9), (c, 0.7)\} = \alpha \in \tau$$

bulunur.

Bu nedenle,  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayıdır.

**Örnek 6:**  $A = \{a, b\}$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık alt kümeleri,  $F_A^1 = \{(a, 0.4), (b, 0.6)\}$ ,  $F_A^2 = \{(a, 0), (b, 0.4)\}$ ,  $F_A^3 = \{(a, 0.4), (b, 0.4)\}$ ,  $F_A^4 = \{(a, 0.4), (b, 0)\}$ ,  $F_A^5 = \{(a, 0), (b, 0.2)\}$ ,  $F_A^6 = \{(a, 0.4), (b, 0.2)\}$ ,  $F_A^7 = \{(a, 0), (b, 0.5)\}$ ,  $F_A^8 = \{(a, 0.4), (b, 0.5)\}$  şeklinde verilsin. Bu durumda  $\tau = \{0_X, 1_X, F_A^1, F_A^2, F_A^3, F_A^4, F_A^5, F_A^6, F_A^7, F_A^8\}$  ailesi bir bulanık topoloji olur.

**Sonuç:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $F_A, G_A \in I^X$  için aşağıdaki özellikler sağlanır:

- i.  $(1_X)^o = 1_X$  ve  $(0_X)^o = 0_X$ ,

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

- ii.  $(F_A)^o \subseteq F_A$ ,
- iii.  $((F_A)^o)^o = (F_A)^o$ ,
- iv.  $F_A \subseteq G_A \Rightarrow (F_A)^o \subseteq (G_A)^o$ .

**Tanım:**  $(X, \tau)$  Bulanık topolojik uzayında ve  $F_A \in I^X$  olsun.  $F_A$ ' yı kapsayan en küçük kapalı bulanık kümeye  $F_A$  nın kapanışı denir ve  $\overline{F_A}$  ile gösterilir.  $\overline{F_A} = \bigwedge \{ G_A \mid F_A \subseteq G_A, (G_A)' \in \tau \}$  şeklinde ifade edilir (Lowen, 1976).

**Teorem:**  $(X, \tau)$  Bulanık topolojik uzay ve  $F_A \in I^X$  olsun.  $F_A$  bulanık kümesinin kapalı olması için, gerek ve yeter şart  $F_A = \overline{F_A}$  olmasıdır (Lowen, 1976).

**Sonuç:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $F_A, G_A \in I^X$  için aşağıdaki özellikler sağlanır:

- i.  $\overline{1_X} = 1_X$  ve  $\overline{0_X} = 0_X$ ,
- ii.  $F_A \subseteq \overline{F_A}$ ,
- iii.  $\overline{\overline{F_A}} = \overline{F_A}$ ,
- iv.  $F_A \subseteq G_A \Rightarrow \overline{F_A} \subseteq \overline{G_A}$ .

**Örnek 7:**  $X$  boştan farklı bir küme ve  $F_A, G_A \in I^X$  bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$F_A(x) = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq x \leq 1/2 \\ 2x - 1 & ; 1/2 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$G_A(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 1/4 \\ -4x + 2 & ; 1/4 \leq x \leq 1/2 \\ 0 & ; 1/2 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$\tau = \{ 0, 1, F_A, G_A, F_A \vee G_A \}$   $X'$  de bir bulanık topoloji olur. Ayrıca kolayca görebiliriz ki,  $\overline{F_A} = (G_A)'$ ,  $\overline{G_A} = (F_A)'$ ,  $\overline{(F_A \vee G_A)} = 1_X$ ,  $((F_A)')^o = G_A$ ,  $((G_A)')^o = F_A$ ,  $((F_A \vee G_A)')^o = 0_X$  olur.

**Örnek 8:**  $X = \{a, b, c, d, e\}$  olarak tanımlansın.

$$F_A^1 = \{(a, 0.6), (b, 0.2), (c, 0.5), (d, 1), (e, 0)\}$$

$$F_A^2 = \{(a, 0), (b, 0.3), (c, 0.5), (d, 0.7), (e, 1)\}$$

$$F_A^3 = \{(a, 0.6), (b, 0.3), (c, 0.5), (d, 1), (e, 1)\}$$

$$F_A^4 = \{(a, 0), (b, 0.2), (c, 0.5), (d, 0.7), (e, 0)\}$$

$\tau = \{0_X, 1_X, F_A^1, F_A^2, F_A^3, F_A^4\}$  sınıfı bulanık topoloji olur. Ayrıca  $X$  in bulanık kapalı alt kümeleri;  $0_X, 1_X$

$$(F_A^1)' = \{(a, 0.4), (b, 0.8), (c, 0.5), (d, 0), (e, 1)\}$$

$$(F_A^2)' = \{(a, 1), (b, 0.7), (c, 0.5), (d, 0.3), (e, 0)\}$$

$$(F_A^3)' = \{(a, 0.4), (b, 0.7), (c, 0.5), (d, 0), (e, 0)\}$$

$$(F_A^4)' = \{(a, 1), (b, 0.8), (c, 0.5), (d, 0.3), (e, 1)\}$$

bulanık kümeleridir.

$G_A = \{(a, 0.5), (b, 0.4), (c, 0.7), (d, 1), (e, 1)\}$  bulanık kümesi için  $G_A^o = F_A^2$  ve  $\overline{G_A} = 1_X$  olarak bulunur.

**Tanım:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $F_A, U_B, V_C \in I^X$  olsun.  $V_C, F_A$ 'nın komşuluğudur ancak ve ancak  $F_A \subseteq U_B \subseteq V_C$  olacak şekilde bir  $U_B$  bulanık açık kümesi vardır (Lowen, 1976). Özel olarak bulanık açık olan komşuluğa bulanık açık komşuluk denir.

**Teorem:**  $F_A$  bulanık kümesi açıktır ancak ve ancak her bir  $G_B \subseteq F_A$  bulanık kümesi için  $F_A, G_B$  nin bir bulanık komşuluğu olur.

**İspat:** ( $\Rightarrow$ ): Aşikârdır.

( $\Leftarrow$ ): Her bir  $G_B \subseteq F_A$  bulanık kümesi için  $F_A, G_B$  nin bir bulanık komşuluğu olsun.  $F_A \subseteq F_A$  olduğundan  $F_A$  kendisinin bir komşuluğu olur. O halde,  $F_A \subseteq U_B \subseteq F_A$  olacak şekilde bir  $U_B$  bulanık açık kümesi vardır.  $F_A = U_B$  alırsak  $F_A$  bulanık açık olur.

Bir bulanık kümenin komşuluk sistemi, bulanık kümenin tüm komşuluklarının ailesidir ve  $\mathcal{N}$  ile gösterilir.

**Teorem:**  $\mathcal{N}$  bir bulanık kümenin komşuluk sistemi olsun.  $\mathcal{N}$  nin elemanlarının sonlu arakesitleri  $\mathcal{N}$  ye aittir ve  $\mathcal{N}$  nin bir elemanını kapsayan her bir bulanık küme  $\mathcal{N}$  ye aittir.

**İspat:**  $F_A$  bulanık kümesinin,  $N_1$  ve  $N_2$  komşuluklarını alalım. Bu durumda  $N_1' \subseteq N_1$  ve  $N_2' \subseteq N_2$  olacak şekilde  $N_1', N_2'$  açık komşulukları mevcuttur. Böylece  $N_1' \wedge N_2' \subseteq N_1 \wedge N_2$  olur ki bu da  $N_1 \wedge N_2$  'nin  $F_A$  nın bir komşuluğu olduğunu



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

gösterir. Böylece  $\mathcal{N}$  nin iki elemanının arakesiti  $\mathcal{N}$  ye aittir.

Diğer taraftan bir  $N$  bulanık kümesi  $F_A$  nın bir komşuluğunu kapsarsa  $F_A$  nın bir açık komşuluğunu kapsar ve dolayısıyla kendisi komşuluktur.

**Örnek 9:**  $X = \{x, y, z\}$  kümesi üzerinde  $\alpha, \beta, \gamma, \delta \in I^X$  bulanık alt kümeleri aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$\alpha = \{(x, 0.5), (y, 0.8), (z, 0.2)\},$$

$$\beta = \{(x, 0.4), (y, 0.8), (z, 0.5)\},$$

$$\gamma = \{(x, 0.5), (y, 0.8), (z, 0.5)\},$$

$$\delta = \{(x, 0.3), (y, 0.7), (z, 0.1)\},$$

ile tanımlansın. Bu durumda  $\tau = \{0_X, 1_X, \alpha, \beta, \gamma\}$  bir bulanık topoloji ve  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay olur. Böylece  $\alpha, \beta, \gamma \in \tau$   $\delta$ 'nın açık komşuluğudur.

**Tanım:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayı ve  $\mathfrak{B} \subseteq \tau$  bulanık alt ailesi verilsin. Eğer  $X$  in her bulanık açık kümesi  $\mathfrak{B}$  nin bazı elemanlarının birleşimi şeklinde yazılabiliyorsa  $\mathfrak{B}$  ailesine  $\tau$  topolojisinin bir bulanık tabanı denir (Chang, 1968).

**Tanım:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $\mathcal{A} \subseteq \tau$  olsun,  $\mathfrak{B} = \{F_A : F_A \in \mathcal{A} \text{ ve } \mathcal{A} \text{ sonlu}\}$  ailesini bulanık taban kabul eden  $\tau$  topolojisi için  $\mathcal{A}$ ,  $\tau$  için bir alt tabandır denir (Chang, 1968).

**Örnek 10:**  $X = \{x, y\}$  ve  $\alpha, \beta, \gamma \in I^X$ , bulanık alt kümeleri  $\alpha = \{(x, 0.3), (y, 0.6)\}$ ,  $\beta = \{(x, 0.7), (y, 0.5)\}$ ,  $\gamma = \{(x, 0.7), (y, 0.6)\}$  ile verilsin.  $\delta = \alpha \wedge \beta = \{(x, 0.3), (y, 0.5)\}$  olmak üzere  $\tau = \{0_X, 1_X, \alpha, \beta, \gamma, \delta\}$  ailesi bir bulanık topolojidir ve  $(X, \tau)$  bir bulanık topolojik uzay olur. Bu durumda  $\mathfrak{B} = \{0_X, 1_X, \alpha, \beta, \delta\}$  ailesi  $\tau$  bulanık topolojisi için bir taban olur.

**Örnek 11:**  $X = \{x, y\}$  ve  $\alpha, \beta, \gamma, \delta \in I^X$  bulanık alt kümeler olsun.  $\alpha = \{(x, 0.2), (y, 0.6)\}$ ,  $\beta = \{(x, 0.3), (y, 0.5)\}$ ,  $\gamma = \{(x, 0.2), (y, 0.5)\}$ ,  $\delta = \{(x, 0.3), (y, 0.6)\}$ . Böylece  $\tau = \{0_X, 1_X, \alpha, \beta, \gamma, \delta\}$  bir bulanık topoloji ve  $(X, \tau)$  bir bulanık topolojik uzay olur. Ayrıca  $\mathcal{S} = \{\alpha, \beta\}$   $\tau$  için bir alt taban ve  $\mathfrak{B} = \{0_X, 1_X, \alpha, \beta, \gamma\}$  ailesi  $\tau$  için bir taban olur.

**Tanım:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay ve  $F_A \in I^X$  olsun.  $\tau_{F_A} = \{\vartheta \wedge F_A : \vartheta \in \tau\}$  ailesi,  $F_A$  üzerinde bir bulanık topolojidir ve  $\tau_{F_A}$  ya  $F_A$  üzerine indirgenmiş bulanık topoloji denir.  $(F_A, \tau_{F_A})$  ikilisine ise  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayının bir bulanık alt uzayı denir.

**Tanım:**  $F_B, F_B(y)$  üyelik fonksiyonuyla  $Y$  de bir bulanık küme,  $B \subseteq Y$  ve  $f: X \rightarrow Y$  bir fonksiyon olsun. Buradan  $F_B$  bulanık kümesinin ters resmi  $X$  üzerinde bir bulanık kümedir.  $f^{-1}(F_B)$  bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonu,  $\forall x \in X$  için  $F(f^{-1}(F_B)) = F_B(f(x))$  ile tanımlanır.

Diğer taraftan,  $F_A, F_A(X)$  üyelik fonksiyonuyla  $X$  de bir bulanık küme,  $A \subseteq X$  olsun.  $F_A$  nın görüntüsü  $f[F_A]$ ,  $Y$  de bir bulanık kümedir.  $f[F_A]$  ya ait üyelik fonksiyonu  $\forall y \in Y$  için,

$$F_{f(F_A)}(y) = \begin{cases} \sup\{F_{F_A}(z)\} & , f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0 & , f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases}$$

ile tanımlıdır (Chang, 1968).

**Teorem:**  $f: X \rightarrow Y$  bir fonksiyon olsun.  $\alpha \in I^X$  ve  $\beta \in I^Y$  olmak üzere aşağıdaki koşullar sağlanır.

- i.  $f^{-1}(\beta') = (f^{-1}(\beta))'$
- ii.  $(f(\alpha))' \subset f(\alpha')$
- iii.  $\beta_1 \subset \beta_2 \Rightarrow f^{-1}(\beta_1) \subset f^{-1}(\beta_2), \beta_1, \beta_2 \in I^Y$
- iv.  $\alpha_1 \subset \alpha_2 \Rightarrow f(\alpha_1) \subset f(\alpha_2), \alpha_1, \alpha_2 \in I^X$
- v.  $f(f^{-1}(\beta)) \subset \beta$
- vi.  $\alpha \subset f^{-1}(f(\alpha))$

**Örnek 12:**  $X = \{1, 2, 3, 4\}, Y = \{a_1, a_2, a_3\}$  sırasıyla parametre kümesi ve evlerden oluşan küme ve iki kişilik evlerin sahip oldukları özellikleri belirten bulanık küme  $F_A = \{(1, 0.8), (2, 1), (3, 0.6), (4, 0.2)\}$  olsun.  $f: X \rightarrow Y$  fonksiyonu  $f(1) = f(3) = a_1, f(2) = a_2, f(4) = a_3$  ile tanımlansın.

$$f^{-1}(a_1) = \{1, 3\}, F_{f(A)}(a_1) = \sup\{0.8, 0.6\} = 0.8$$

$$f^{-1}(a_2) = \{2\}, F_{f(A)}(a_2) = 1$$

$$f^{-1}(a_3) = \{4\}, F_{f(A)}(a_3) = 0.2$$

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

bulunur. Böylece,

$$f(F_A) = \{Y, F_Y(f(F_A))\} = \{(a_1, 0.8), (a_2, 1), (a_3, 0.2)\}$$

olur.

**Örnek 13:**  $X = \{-1, 0, 1\}$ ,  $f: X \rightarrow Y$ ,  $f(x) = x^2$  olsun.  $Y$  nin bulanık alt kümesini  $F_B = \{(0, 1), (1, 0.6)\}$  şeklinde tanımlayalım. O zaman  $f^{-1}(F_B)$  bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonu  $F(f^{-1}(F_B)) = F_B(f(x))$  ile tanımlı olduğundan,

$$x = -1, x = 1 \text{ için } f(x) = 1 \text{ ve } F_B(1) = 0.6$$

$$x = 0 \text{ için } f(0) = 0 \text{ ve } F_B(0) = 1 \text{ değerleri ile}$$

$$F(f^{-1}(F_B)) = \{(-1, 0.6), (0, 1), (1, 0.6)\}$$

bulunur.

**Tanım:**  $(X, \tau_1)$  ve  $(Y, \tau_2)$  İki bulanık topolojik uzay olsun.  $f: (X, \tau_1) \rightarrow (Y, \tau_2)$  fonksiyonu bir bulanık sürekli fonksiyondur ancak ve ancak  $Y$  de her bir bulanık açık kümenin ters resmi  $X$  de bir bulanık açık kümedir (Chang, 1968).

**Not:** Klasik topolojide sabit fonksiyonların sürekli olduğunu biliyoruz. Ancak bulanık topolojik uzaylarda bu geçerli değildir. Yani bulanık topolojide sabit fonksiyonlar bulanık sürekli olmayabilir.

**Teorem:**  $f: X \rightarrow Y$  ve  $g: Y \rightarrow Z$  bulanık sürekli fonksiyonlar olsun. Bu durumda:

$(g \circ f): X \rightarrow Z$  bileşke fonksiyon da bulanık sürekli fonksiyon olur.

**İspat:**  $f: X \rightarrow Y$  ve  $g: Y \rightarrow Z$  bulanık sürekli fonksiyonlar olsun.  $\forall v \in Z$  için  $(g \circ f)(v)^{-1} = f^{-1}(g^{-1}(v))$  olur.  $f$  ve  $g$  nin bulanık sürekliliğini kullanarak  $(g \circ f)^{-1}(v)$  nin bulanık açık olduğunu görürüz.

**Teorem:**  $X$  ve  $Y$  bulanık topolojik uzayları verilsin.  $f: X \rightarrow Y$  bir fonksiyon olmak üzere aşağıdaki özellikler denktir.

- i. Her bulanık kapalı kümenin tersi bulanık kapalıdır.
- ii.  $f$  fonksiyonu bulanık süreklidir.

iii. Her bir  $F_A \in I^X$  için  $f(F_A)$  nün her komşuluğunun ters resmi  $F_A$  nin bir komşuluğudur.

iv. Her bir  $F_A \in X$  için  $f(F_A)$  nin her  $\mathcal{U}$  komşuluğu için  $f(T) \subset \mathcal{U}$  olacak biçimde  $F_A$  nin bir  $T$  komşuluğu vardır.

**Teorem:**  $(X, \tau_1)$  ve  $(Y, \tau_2)$  iki bulanık topolojik uzay olsun. Buna göre,  $f: (X, \tau_1) \rightarrow (Y, \tau_2)$  süreklidir ancak ve ancak her  $F_A \in I^X$ ,  $f(\overline{F_A}) \subseteq \overline{f(F_A)}$  sağlanır.

**İspat:**  $(X, \tau_1)$  ve  $(Y, \tau_2)$  iki bulanık topolojik uzay olmak üzere  $f: (X, \tau_1) \rightarrow (Y, \tau_2)$  sürekli olsun. Her küme kapanışının alt kümesi olduğundan  $f(F_A) \subseteq \overline{f(F_A)}$  elde edilir. Böylece,  $F_A \subseteq f^{-1}(\overline{f(F_A)}) \subseteq f^{-1}(\overline{f(F_A)})$  yazılır.  $f$  sürekli ve  $\overline{f(F_A)}$  kapalı olduğundan  $f^{-1}(\overline{f(F_A)})$  da kapalıdır. Ancak  $F_A$  'yı kapsayan en dar kümenin  $\overline{F_A}$  olduğunu biliyoruz. O halde,

$$F_A \subseteq \overline{F_A} \subseteq f^{-1}(\overline{f(F_A)}) \Rightarrow f(\overline{F_A}) \subseteq f(f^{-1}(\overline{f(F_A)})) = \overline{f(F_A)}$$

bulunur.

Tersine, her  $F_A \in I^X$  için  $f(\overline{F_A}) \subseteq \overline{f(F_A)}$  olsun.  $G_B \in \tau_2$  ve  $f^{-1}(G_B) = H_A$  olacak şekilde  $G_B \in I^Y$  bulanık kapalı alt kümesini ve  $H_A \in I^X$  bulanık alt kümesini düşünelim. Hipotezden,

$$f(\overline{H_A}) \subseteq \overline{f(H_A)} = \overline{f(f^{-1}(G_B))} \subseteq \overline{G_B} = G_B \Rightarrow \overline{H_A} \subseteq f^{-1}(G_B) = H_A$$

yani  $\overline{H_A} \subseteq H_A$  bulunur. Ayrıca  $H_A \subseteq \overline{H_A}$  olduğunu biliyoruz. Böylece  $\overline{H_A} = H_A$  bulunur. Buradan  $f^{-1}(G_B) = H_A$  kapalıdır. Yani  $f$  süreklidir.

**Tanım:**  $f: (X, \tau_1) \rightarrow (Y, \tau_2)$  bulanık topolojik uzaylar arasında tanımlı bir fonksiyon olsun.  $F_A, H_A \in I^X$  ve  $G_B \in I^Y$  olmak üzere,

- i.  $f$  bulanık süreklidir  $\Leftrightarrow \forall G_B \in \tau_2$  için  $f^{-1}(G_B) \in \tau_1$
- ii.  $f$  bulanık açık  $\Leftrightarrow \forall F_A \in \tau_1$  için  $f(F_A) \in \tau_2$

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269744

iii.  $f$  bulanık kapalı  $\Leftrightarrow \forall H_A \in \tau'_1$  için  $f(H_A) \in \tau'_2$

Ayrıca eğer  $f$  bijektif (yani bire- bir ve örten) ve  $f$  ile  $f^{-1}$  sürekli ise  $f$  fonksiyonuna bir bulanık homeomorfizma denir (Nasrin ve Zahan, 2021).

**Tanım:**  $F_A \in I^X$  bir bulanık küme olsun.  $\overline{F_A} = 1_X$  oluyorsa  $F_A$  bulanık yoğun veya her yerde yoğundur denir (Nasrin ve Zahan, 2021).

**Tanım:**  $F_A \in I^X$  bir bulanık küme olsun.  $(\overline{F_A})^o = 0_X$  oluyorsa  $F_A$ ' ya hiçbir yerde yoğun değildir denir (Nasrin ve Zahan, 2021).

**Sonuç:**  $F_A, G_B \in I^X$  bulanık kümeler olsunlar. Buna göre aşağıdakiler sağlanır.

- $F_A \subseteq G_B$  ve  $G_B$  bulanık yoğun ise  $F_A$  da bulanık yoğun olur.
- $F_A$  hiçbir yerde yoğun değil ise  $\overline{F_A}$  da hiçbir yerde yoğun değildir.
- $F_A$  bulanık yoğun ise  $(1_X - F_A)^o = 0_X$  olur.

**Tanım:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzay olsun.  $\forall x, y \in X, x \neq y$  için  $x \in F_A, y \in G_A$  ve  $F_A \wedge G_A = 0_X$  olacak şekilde  $F_A, G_A \in \tau$  bulanık açık alt kümeleri var ise  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayına Hausdorff bulanık uzay denir.

**Teorem:**  $f: (X, \tau_1) \rightarrow (Y, \tau_2)$  bulanık açık fonksiyon olmak üzere  $(X, \tau_1)$  Hausdorff bulanık topolojik uzay ise  $(Y, \tau_2)$  bulanık uzayı da bir Hausdorff bulanık topolojik uzayıdır.

**İspat:**  $y_1, y_2 \in Y$  ve  $y_1 \neq y_2$  olsun.  $y_1 = f(x_1)$  ve  $y_2 = f(x_2)$  alalım. Hipotezden  $(X, \tau_1)$  Hausdorff bulanık topolojik uzayı olduğundan  $x_1 \in F_A, x_2 \in G_A$  ve  $F_A \wedge G_A = 0_X$  olacak şekilde  $F_A, G_A \in \tau_1$  bulanık açık alt kümeleri vardır.  $f: (X, \tau_1) \rightarrow (Y, \tau_2)$  bulanık açık fonksiyon olduğundan  $f(F_A), f(G_A) \in \tau_2$  olur.  $y_1 \in f(F_A), y_2 \in f(G_A)$  ve ayrıca  $f(F_A \wedge G_A) = f(F_A) \wedge f(G_A) = 0_Y$  olduğundan  $(Y, \tau_2)$  bir Hausdorff bulanık topolojik uzayıdır.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

### Bulanık Topolojik Uzayların Toplamları

**Tanım :**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayının alt topolojik uzaylarının bir ailesi  $\{(X_i, \tau_i)\}$ ,  $i \in \Lambda$  ve  $X = \bigvee X_i$  olsun. Bulanık alt uzay topolojisi tanıma göre her  $i \in \Lambda$  ve her  $F_A \in \tau$  bulanık açık (bulanık kapalı) kümesi için  $F_A \wedge X_i$  bulanık kümesi  $X_i$  de bulanık açık (bulanık kapalı) olur. Buna göre :

$F_A \in \tau$  (veya  $F_A' \in \tau$ )  $\Leftrightarrow \forall i \in \Lambda$ ,  $F_A \wedge X_i \in \tau_i$  (veya  $(F_A \wedge X_i)' \in \tau_i$ )

oluyorsa  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayına  $(X_i, \tau_i)$  bulanık topolojik uzaylarının serbest bileşimi denir.

**Sonuç:**  $F_A \in I^X$  bulanık alt küme olsun.  $(F_A, \tau_{F_A})$  bulanık alt uzayı  $(F_A \wedge X_i, \tau_{F_A} \wedge X_i)$  bulanık alt uzaylarının serbest birleşimi olur.

Bulanık topolojik uzaylarının  $\{(X_i, \tau_i)\}$ ;  $i \in \Lambda$  ailesi için  $X = \bigvee X_i$  olsun.  $X$  üzerinde söz konusu bulanık topoloji  $\tau$ ,

$F_A \in \tau \Leftrightarrow \forall i \in \Lambda$ ,  $F_A \wedge X_i \in \tau_i$

ile verilsin. Eğer her bir  $(X_i, \tau_i)$  bulanık topolojik uzayı  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayının birer alt uzay ve her bir  $X_i$  bulanık kümesi  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayında açık oluyorsa  $(X, \tau)$ ,  $(X_i, \tau_i)$  ailesinin serbest birleşimi olacaktır. Ancak  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayının  $(X_i, \tau_i)$  ailesinin serbest bileşimi olması için  $(X_i, \tau_i)$  bulanık topolojik uzaylarının alt uzay olması gerekmez. Serbest bileşim için alt uzay olma zorunluluğunu ortadan kaldıran önerme aşağıda verilmiştir.

**Önerme :** Bulanık topolojik uzaylardan oluşan  $\{(X_i, \tau_i)\}$ ;  $i \in \Lambda$  ailesi ayrık ve  $X = \bigvee X_i$  olsun.

$F_A \in \tau \Leftrightarrow$  her  $i \in \Lambda$  için  $F_A \wedge X_i \in \tau_i$

şeklinde tanımlanan  $\tau$  ailesi bir bulanık topolojidir.

**İspat :**

- Her  $i \in \Lambda$  için  $0_X \wedge X_i = 0_X \Rightarrow 0_X \in \tau$  ve  $1_X \wedge X_i = X_i \in \tau_i \Rightarrow 1_X \in \tau$
- Her sonlu  $\{F_A^1, F_A^2, \dots, F_A^n\} \subseteq \tau$  alt ailesi için,

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

$\forall i \in \Lambda$  ,  $(\bigwedge_{r=1}^n F_A^r) \wedge X_i = \bigwedge_{r=1}^n (F_A^r \wedge X_i)$   
ifadesinde  $F_A^r \in \tau$  olduğundan

$\forall i \in \Lambda$  için  $F_A^r \wedge X_i \in \tau_i$

olur. Her  $i \in \Lambda$  için  $(X_i, \tau_i)$  topolojik uzay olduğundan  $\bigwedge_{r=1}^n (F_A^r \wedge X_i) \in \tau_i$  bulunur. Böylece,

$$\bigwedge_{r=1}^n (F_A^r \wedge X_i) = (\bigwedge_{r=1}^n F_A^r) \wedge X_i \in \tau_i \quad \Rightarrow \quad (\bigwedge_{r=1}^n F_A^r) \in \tau$$

çıkar.

iii. Her  $\{F_A^1, F_A^2, \dots\} \subseteq \tau$  alt ailesi için :

$$\forall i \in \Lambda \quad , \quad (\bigvee_r F_A^r) \wedge X_i = \bigvee_r (F_A^r \wedge X_i) \in \tau_i \quad \Rightarrow \quad \bigvee_r F_A^r \in \tau$$

elde edilir. Böylece topoloji aksiyomları sağlanmış olur. Böylece  $(X, \tau)$  bir bulanık topolojik uzay olur. Özellikle bu  $(X, \tau)$  uzayı,  $\{(X_i, \tau_i)\}_{i \in \Lambda}$  ailesinin serbest bileşimi olacaktır.

**Tanım :** Yukarıdaki önermede tanımlanan  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayına ikişer ikişer ayrık  $(X_i, \tau_i)$  bulanık topolojik uzaylarının bulanık topolojik toplamı denir. Bu bulanık toplam  $(\bigcup X_i, \tau_i)$  ile gösterilir. Daha net bir anlamda  $X_i$  bulanık kümeleri ikişer ikişer ayrık olmak üzere,  $X_i$  bulanık kümelerinin birleşimi  $X$  bulanık kümesini veriyorsa  $X = \bigcup X_i$  olur.  $X = \bigcup X_i$  topolojik toplamına ait  $\tau$  topolojisine ise ayrık bileşim topolojisi adı verilir.

**Önerme:** Bulanık topolojik uzaylardan oluşan  $\{(X_i, \tau_i)\}; i \in \Lambda$  ailesi için  $X = \bigcup X_i$  olsun , yani  $X = \bigcup X_i$ ,  $\{(X_i, \tau_i)\}$  bulanık uzaylarının bulanık topolojik toplamı olsun.  $F_A \subseteq X$  bulanık alt kümesi bulanık kapalıdır ancak ve ancak her bir  $i \in \Lambda$  için  $F_A \wedge X_i (X_i, \tau_i)$  bulanık uzayında bulanık kapalıdır.

**İspat:**  $F_A \subseteq X$  bulanık alt kümesi  $X$  bulanık toplam uzayında bulanık kapalı ise her bir  $i \in \Lambda$  için  $F_A \wedge X_i$  bulanık kümesinin  $(X_i, \tau_i)$  bulanık uzayında bulanık kapalı olacağı açıktır. Diğer taraftan her bir  $i \in \Lambda$  için  $F_A \wedge X_i, (X_i, \tau_i)$  bulanık uzayında bulanık kapalı olsun.  $(X \setminus F_A) \wedge X_i = X_i \setminus (F_A \wedge X_i)$  ve  $F_A \wedge X_i$  bulanık kapalı olduğundan  $X_i \setminus (F_A \wedge X_i)$  ve dolayısıyla  $(X \setminus F_A) \wedge X_i$  bulanık açıktır. Yani  $X \setminus F_A,$

$\bigcup X_i$  uzayında bulanık açıktır. Buradan  $F_A, \bigcup X_i$  toplam uzayında bulanık kapalı olur.

**Teorem:**  $\{(X_i, \tau_i)\}; i \in \Lambda$  bulanık topolojik uzayların ayrık ailesi ve  $X = \bigcup X_i$  olmak üzere  $(X, \tau), X_i$  uzaylarının bulanık topolojik toplamı olsun.  $\forall i \in \Lambda$  için  $\tau_i$ - bulanık açık olan her küme  $\tau$ -bulanık açık olur.

**İspat:**  $\forall i \in \Lambda$  için  $\tau_i \subseteq \tau$  olduğunu göstermeliyiz.  $F_A \in \tau_i$  olsun. Eğer  $F_A \subseteq X_i$  ise

$$F_A \wedge X_i = F_A \in \tau_i \Rightarrow F_A \wedge X_i \in \tau_i,$$

$$i \neq j \text{ için } F_A \wedge X_j = 0_X \in \tau_i \Rightarrow F_A \wedge X_j \in \tau_i,$$

bulunur. Yani  $\forall i \in \Lambda$  için  $F_A \wedge X_i \in \tau_i \Rightarrow F_A \in \tau$  olur.

**Örnek 14:**  $X = \{1,2,3,4,5\}$  ,  $X_1 = \{1,2\}$  ,  $X_2 = \{3,4,5\}$  olsun.  $X_1$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler  $F_{X_1}^1 = \{(1,0.2), (2,0.5)\}$  ve  $F_{X_1}^2 = \{(1,0), (2,0.3)\}$  olarak verilsin .Bu durumda  $\tau_1 = \{0_X, 1_X, F_{X_1}^1, F_{X_1}^2\}$ ,  $X_1$  üzerinde bulanık topoloji olur.

$X_2$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler :

$$G_{X_2}^1 = \{(3,0), (4,0.5), (5,0.6)\}$$

$$G_{X_2}^2 = \{(3,0.1), (4,0.8), (5,0.2)\}$$

$$G_{X_2}^1 \wedge G_{X_2}^2 = G_{X_2}^3 = \{(3,0), (4,0.5), (5,0.2)\}$$

$$G_{X_2}^1 \vee G_{X_2}^2 = G_{X_2}^4 = \{(3,0.1), (4,0.8), (5,0.6)\}$$

olsun. O halde  $\tau_2 = \{0_{X_2}, 1_{X_2}, G_{X_2}^1, G_{X_2}^2, G_{X_2}^3, G_{X_2}^4\}$  ,  $X_2$  üzerinde bulanık topoloji olur.

$X = \bigcup X_i$  bulanık topolojik toplamı üzerindeki bulanık topoloji ise aşağıdaki gibidir.

$$\tau = \left\{ \begin{array}{l} 0_X, 1_X, 1_{X_1}, 1_{X_2}, F^1, F^2, G^1, G^2, G^3, G^4, F^1 \vee G^1, \\ F^1 \vee G^2, F^1 \vee G^3, F^1 \vee G^4, F^2 \vee G^1, F^2 \vee G^2, \\ F^2 \vee G^3, F^2 \vee G^4, 1_{X_2} \vee F^1, 1_{X_2} \vee F^1 \\ 1_{X_1} \vee G^1, 1_{X_1} \vee G^2, 1_{X_1} \vee G^3, 1_{X_1} \vee G^4 \end{array} \right\}$$

**Sonuçlar:**

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

- i.  $X = \cup X_i, \{(X_i, \tau_i)\}$  bulanık uzaylarının bulanık topolojik toplamı olsun. Her  $X_i$  bulanık kümesi  $X = \cup X_i$  bulanık uzayında hem bulanık açık hem de bulanık kapalıdır.
- ii. Her bulanık topolojik toplam uzayı bulanık bağlantısızdır.

**Teorem :**  $X = \cup X_i$  bulanık topolojik toplamları olsun. O halde her  $X_i$  bulanık topolojik uzayı  $X$  in bir bulanık alt uzayıdır.

**İspat :**  $X = \cup_{i \in \Lambda} X_i$  ve  $X_i$  ayrık kümeler olduğundan  $X_i \subseteq X$  olduğu açıktır . Ayrıca her  $i \in \Lambda$  için  $\tau' = \{X_i \wedge G; G \in \tau\}$  olmak üzere  $\tau_i = \tau'$  olduğunu göstermeliyiz.

$$F_A \in \tau' \Rightarrow \exists G_A \in \tau : F_A = X_i \wedge G_A \Rightarrow X_i \cap G_A \in \tau_i \Rightarrow F_A \in \tau_i$$

$$H_A \in \tau_i \text{ ve } \tau_i \subseteq \tau \Rightarrow H_A \in \tau \text{ ve } H_A \subseteq X_i \Rightarrow H_A = H_A \wedge X_i; H_A \in \tau \Rightarrow H_A \in \tau'$$

O halde  $\tau_i = \tau'$  olur.

**Tanım:** Bulanık topolojik uzaylardan oluşan  $\{(X_i, \tau_i)\}; i \in \Lambda$  ailesi ayrık ve  $X = \cup X_i$  olsun, yani  $\cup X_i$  bulanık topolojik toplam olsun.  $F_A, G_A \in I^X$  bulanık alt kümeleri verilsin. Eğer  $F_A \subseteq H_A \subseteq G_A; H_A \in \tau$  varsa  $G_A$  kümesine  $F_A$  kümeye bir komşuluğu denir.  $F_A$  'nın tüm bulanık komşuluklarının ailesi  $\mathcal{N}_X(F_A)$  ile gösterilir.

$\mathcal{N}_X(F_A) = \{ N_A \vee G_A; N_A \in \mathcal{N}_{X_i}(F_A), G_A \in I^X \}$  olur. Burada  $\mathcal{N}_{X_i}(F_A), F_A$  ögesinin  $(X_i, \tau_i)$  uzayındaki komşulukları ailesidir.

**Teorem:**  $F_A \in I^X$  kümesi bulanık açıktır  $\Leftrightarrow F_A$  bulanık kümesi her bir bulanık alt kümesinin bir komşuluğudur.

**İspat:**

$\Rightarrow:$   $F_A$  bulanık açık , yani  $F_A \in \tau$  ve  $G_A \subseteq F_A$  olsun.  $F_A^1 \subseteq F_A \subseteq F_A$  yazılabildiğinden  $F_A, F_A^1$  bulanık kümesinin bir komşuluğu olur.

$\Leftarrow:$  Tersine  $F_A$  her alt kümesinin bir komşuluğu ise  $F_A^1 \subseteq G_A \subseteq F_A$  olacak şekilde  $G_A$  bulanık açık kümesi mevcuttur. Buradan,

$$G_A = \cup F_A^1 \subseteq G_A \subseteq \cup F_A = \{F_A; F_A^1 \subseteq F_A\}$$

olur. Bu nedenle  $F_A$  kümesi  $G_A$  bulanık açık kümelerinin bir birleşimi ve böylece  $F_A$  bulanık açıktır.

**Örnek 15:**

$X = \{a, b, c, d\}, X_1 = \{a, b\}, X_2 = \{c, d\}$  olsun .  $X_1$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler,  $R_{X_1}^1 = \{(a, 0.1), (b, 0.6)\}$  ve  $R_{X_1}^2 = \{(a, 0), (b, 0.4)\}$  olarak verilsin. Bu durumda,  $\tau_1 = \{0_{X_1}, 1_{X_1}, R_{X_1}^1, R_{X_1}^2\}$ ,  $X_1$  üzerinde bir bulanık topoloji olur.  $X_2$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler :

$$T_{X_2}^1 = \{(c, 0), (d, 1)\}$$

$$T_{X_2}^2 = \{(c, 0.3), (d, 0.5)\}$$

$$T_{X_2}^1 \wedge T_{X_2}^2 = \{(c, 0), (d, 0.5)\} = T_{X_2}^3$$

$$T_{X_2}^1 \vee T_{X_2}^2 = \{(c, 0.3), (d, 1)\} = T_{X_2}^4$$

olsun. O halde,

$\tau_2 = \{0_{X_2}, 1_{X_2}, T_{X_2}^1, T_{X_2}^2, T_{X_2}^3, T_{X_2}^4\}$ ,  $X_2$  üzerinde bir bulanık topoloji olur.  $X = \cup X_i$  toplamı üzerindeki bulanık topoloji ise

$$\tau = \left\{ \begin{array}{l} 0_X, 1_X, 1_{X_2}, 1_{X_1}, R_{X_1}^1, R_{X_1}^2, T_{X_2}^1, T_{X_2}^2, T_{X_2}^3, T_{X_2}^4, \\ R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^1, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^2, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^3, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^4, \\ R_{X_1}^2 \vee T_{X_2}^1, R_{X_1}^2 \vee T_{X_2}^2, R_{X_1}^2 \vee T_{X_2}^3, R_{X_1}^2 \vee T_{X_2}^4 \end{array} \right\}$$

ve

$$\mathcal{N}(R_{X_1}^1) = \left\{ \begin{array}{l} R_{X_1}^1, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^1, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^2, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^3, R_{X_1}^1 \vee T_{X_2}^4, \\ \{(a, 0.2), (b, 0.6)\}, \{(a, 0.3), (b, 0.6)\}, \dots \\ \{(a, 0.2), (b, 0.7)\}, \{(a, 0.3), (b, 0.7)\}, \dots \end{array} \right\}$$

olarak bulunur.

**Tanım:**  $X = \cup X_i$  bulanık topolojik toplamını alalım.  $(X, \tau)$  bulanık uzayının bir  $F_A \in I^X$  bulanık alt kümesi düşünelim.  $F_A$  kümesinin kapanışı  $F_A$  kümesini kapsayan bütün bulanık kapalı kümelerin arakesitidir ve  $\overline{F_A}$  ile gösterilir. Sonuç olarak  $\overline{F_A}, F_A$  kümesini barındıran en küçük bulanık kapalı kümedir. Diğer bir ifade ile



Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1269744

$$\overline{F_A} = \{ \wedge K_A : F_A \subset K_A \text{ ve } K_A' \in \tau \}$$

bulanık kümesidir.

**Tanım:**  $\{(X_i, \tau_i), i \in \Lambda$  ailesinin bulanık topolojik toplamı olan  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayı için,  $F_A \subset I^X$  ve  $p \in F_A$  olsun. Eğer  $p$  'nin,  $F_A$  'nın içinde kalan uygun bir komşuluğu varsa  $p$  'ye  $F_A$  'nın bulanık iç noktası denir.  $f_A$  'nın tüm bulanık iç noktalarının kümesine  $F_A$  'nın içi denir ve  $F_A^0$  ile gösterilir.  $F_A^0 = \vee \{G_A \subset F_A : G_A \in \tau\}$  olduğu açıktır.

**Örnek 16:**  $X = \{a, b, c\}, X_1 = \{a\}, X_2 = \{b, c\}$  olsun.  $X_1$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler  $T_{X_1}^1 = \{(a, 0.5)\}$  ve  $T_{X_1}^2 = \{(a, 0.3)\}$  olarak verilsin. Bu durumda  $\tau_1 = \{0_{X_1}, T_{X_1}^1, T_{X_1}^2\}$  olur.  $X_2$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler :

$$D_{X_2}^1 = \{(b, 0.1), (c, 0.5)\}$$

$$D_{X_2}^2 = \{(b, 0.4), (c, 1)\}$$

olmak üzere  $\tau_2 = \{0_{X_2}, 1_{X_2}, D_{X_2}^1, D_{X_2}^2\}$   $X_2$  üzerinde topoloji olur ve  $X = \cup X_i$  Bulanık topolojik toplamı üzerindeki bulanık topoloji

$$\tau = \left\{ \begin{array}{l} 0_X, 1_X, 1_{X_2}, 1_{X_1}, T_{X_1}^1, T_{X_1}^2, D_{X_2}^1, D_{X_2}^2, \\ T_{X_1}^1 \cup D_{X_2}^1, T_{X_1}^1 \cup D_{X_2}^2, T_{X_1}^2 \cup D_{X_2}^1, T_{X_1}^2 \cup D_{X_2}^2 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 0_X, 1_X, 1_{X_2}, 1_{X_1}, T_{X_1}^1, T_{X_1}^2, D_{X_2}^1, D_{X_2}^2 \\ \{(a, 0.5), (b, 0.1), (c, 0.5)\}, \{(a, 0.5), (b, 0.4), (c, 1)\} \\ \{(a, 0.3), (b, 0.1), (c, 0.5)\}, \{(a, 0.3), (b, 0.4), (c, 1)\} \end{array} \right\}$$

şeklinde bulunur ve bulanık kaplı kümeler ailesi

$$F = \left\{ \begin{array}{l} 0_X, 1_X, 1_{X_2}, 1_{X_1}, \{(a, 0.5)\}, \{(a, 0.7)\}, \\ \{(b, 0.9), (c, 0.5)\}, \{(a, 0.5), (b, 0.6), (c, 0)\} \\ \{(b, 0.6), (c, 0)\}, \{(a, 0.5), (b, 0.9), (c, 0.5)\}, \\ \{(a, 0.7), (b, 0.9), (c, 0.5)\}, \{(a, 0.7), (b, 0.6), (c, 0)\} \end{array} \right\}$$

şeklinde dir.  $E = \{(a, 0.5), (b, 0.6), (c, 1)\}$  bulanık kümesi için  $E^0 = \{(a, 0.5), (b, 0.4), (c, 1)\}$  ve  $\overline{E} = 1_X$  bulunur.

**Tanım:**  $\{(X_i, \tau_i)\}; i \in \Lambda$  ailesinin bulanık topolojik toplamı  $(X, \tau)$  olmak üzere,  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayında  $\beta \subseteq \tau$  alt ailesi için eğer  $X$ 'in her bulanık açık kümesi  $\beta$  nin bazı elemanlarının birleşimi olarak

yazılabiliyorsa,  $\beta$  ailesine  $\tau$  bulanık topolojisinin bir tabanı diyeceğiz.

**Örnek 17:**  $X = \{m, n, r\}, X_1 = \{m\}, X_2 = \{n\}, X_3 = \{r\}$  olsun.  $X_1$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler  $M_{X_1}^1 = \{(m, 0.1)\}$  ve  $1_{X_1} = \{(m, 1)\}$  olmak üzere  $\tau_1 = \{1_{X_1}, 0_{X_1}, M_{X_1}^1\}$  bir bulanık topolojidir.  $X_2$  kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler  $N_{X_2}^1 = \{(n, 0.2)\}$  ve  $1_{X_2} = \{(n, 1)\}$  olmak üzere  $\tau_2 = \{1_{X_2}, 0_{X_2}, N_{X_2}^1\}$  de  $X_2$  üzerinde bir bulanık topoloji olur.  $X_3$  kümesi üzerinde ayrık olmayan bulanık topoloji ise  $\tau_3 = \{1_{X_3}, 0_{X_3}\}$  ile verilsin.  $X = \cup X_i$  bulanık topolojik toplamı üzerindeki bulanık topoloji:

$$\tau = \left\{ \begin{array}{l} 1_X, 0_X, 1_{X_1}, 1_{X_2}, 1_{X_3}, M_{X_1}^1, N_{X_2}^1, M_{X_1}^1 \vee N_{X_2}^1, \\ M_{X_1}^1 \vee 1_{X_2}, M_{X_1}^1 \vee 1_{X_3}, N_{X_2}^1 \vee 1_{X_1}, N_{X_2}^1 \vee 1_{X_3} \end{array} \right\}$$

olarak elde edilir. Böylece  $\mathcal{B} = \{0_X, 1_{X_1}, 1_{X_2}, 1_{X_3}, M_{X_1}^1, N_{X_2}^1\}$  ailesi  $\tau$  için bir taban olur.

**Teorem:**  $(X, \tau)$  bulanık topolojik uzayı ve  $\beta \subseteq \tau$  ailesi verilsin.

$\beta, \tau$  için bir taban olur  $\Leftrightarrow \forall F_A \in \tau$  ve  $G_A \subseteq F_A$  için  $\exists B_A \subseteq \beta : G_A \subseteq B_A \subseteq F_A$

**İspat:**

$\Rightarrow \beta, \tau$  için bir taban,  $F_A \in \tau$  ve  $G_A \subseteq F_A$  olsun.

Bu durumda varsayımdan öyle bir takım  $B_i \in \beta$  öğeleri bulunabilirki :  $F_A = \vee B_i$  yazarız.  $G_A \subseteq F_A$  dan  $G_A \subseteq \vee B_i$  ve buradan  $G_A \subseteq B_j \subseteq F_A$  şeklinde bir  $B_j \in \beta$  elemanının var olduğu açıkça görünür.

$\Leftarrow$  Diğer taraftan, her  $F_A \in \tau$  ve her  $G_A \subseteq F_A$  için  $\exists B_A \subseteq \beta : G_A \subseteq B_A \subseteq F_A$  yazabildiğimizi varsayalım. Buna göre,

$F_A = \vee \{G_A\} \subseteq \vee B_A \subseteq F_A$  ve bu nedenle  $F_A = \{\vee B_A : G_A \subseteq F_A\}$  yazabiliriz ve buna göre  $\beta$  ailesi  $\tau$  için bir tabandır.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada bulanık topoloji ve topolojik kavramlar baz alınarak bulanık topolojik toplamlar tanımı verildi ve örneklendirildi. Bulanık topolojik

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1269744

toplamlar için bazı sonuçlar elde edildi. Bulanık topolojik toplamlar için elde edilen ifadelerin aslında topolojik toplamlarda elde edilen sonuçların bir genişlemesi olduğu sonucuna varıldı. Dolayısıyla klasik topolojiyi, elemanlara ait olma derecesi 0 veya 1 olduğunda, bulanık topolojinin özel bir durumu olarak düşünülebilir.

Bu çalışmanın devamı olarak bulanık topolojik uzayların toplamında ayırma aksiyomları, bağlantılılık ve kompaktlık gibi kavramlar da incelenebilir.

### 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

- Al-shami, T.M., Ljubiša D. R. Koćcinac ve Baravan A. Asaad (2020), Sum of soft topological spaces. Mathematics, 8, 990.
- Al-shami, T.M. ve Mhemdi, A. (2023) Generalized frame for orthopair fuzzy sets: (m,n)-Fuzzy Sets and their applications to multi-criteria decision-making methods. Information, 14, 56.
- Atay, A. (2010) Topolojik Toplamlar ve Bazı Sonuçlar (yüksek lisans tezi). Dişabakır: Dicle Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Atay, A. (2023) Disjoint union of fuzzy soft topological spaces. AIMS Mathematics, 8(5), 10547–10557.
- Chang, C. (1968) Fuzzy topological spaces. Journal of Mathematical Analysis and Application, 24(1), 182-190.
- Dobois, D. ve Prade, H. (1980) Fuzzy sets and dystems:Theory and Applications. Boston: Academic Press.
- Kerre, E., Mshhour, A. ve Ghanim, M. (1984) Separation Axioms, Subspaces and Sums in Fuzzy Topology. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 102(1), 189-202.
- Lowen, P. (1976) Fuzzy Topological Spaces and Fuzzy Compactness. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 56(3), 621-633.
- Ming, L. ve Ming, P. (1980) Fuzzy Topology. I. Neighborhood Structure of a Fuzzy Point and Moore-Smith Convergence. Journal of Mathematical ve Applications, 76(2), 571-599.
- Nasrin, R. ve Zahan, I. (2021) An Introduction to Fuzzy Topological Spaces. Advances in Pure Mathematics, 11(5), 483-501.

- Palaniappan, N. (2002), Fuzzy Topology, Alpha Scie. Int. Lyd., 179 sf.
- Shostak, A. P. (1996), Basic Structures of Fuzzy Topology, J. Math. Sci. 78(6), 662-701.
- Shostak, A. P. (1989), “Two decades of fuzzy topology: basic ideas, notions, and results”, Uspekhi Mat. Nauk, 44:6(270), 99–147; Russian Math. Surveys, 44:6, 125–186.
- Ying-ming, L. ve Mao-kang, L. (1998), Fuzzy Topology, World Sci., Sichuan Union University, China, 353 sf.
- Zadeh, L. (1965) Fuzzy sets. Information and control, 8, 338-353.

## Comparison of Performance of Classification Algorithms Using Standard Deviation-based Feature Selection in Cyber Attack Datasets

Ali Şenol

Tarsus University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Mersin, Türkiye  
alisenol@tarsus.edu.tr 

Received date:07.04.2023, Accepted date: 14.06.2023

### Abstract

Supervised machine learning techniques are commonly used in many areas like finance, education, healthcare, engineering, etc., because of their ability to learn from past data. However, such techniques can be prolonged if the dataset is high-dimensional, and irrelevant features may reduce classification performance. Therefore, feature selection or feature reduction techniques are commonly used to overcome the mentioned issues. Hence, feature selection approaches are needed to make the algorithms faster without reducing the classification performance. On the other hand, information security for both people and networks is crucial and must be secured without wasting time. In this study, we compare the classification and run-time performances of state-of-the-art classification algorithms using standard deviation-based feature selection in security datasets. For this purpose, we applied standard deviation-based feature selection to KDD Cup 99 (KDD) and Phishing Legitimate datasets for selecting the most relevant features. Then we ran the selected classification algorithms on the datasets to compare the results. According to the obtained results, while the classification performances of all algorithms were satisfying, Decision Tree (DT) was the best among others. On the other hand, while DT, k Nearest Neighbors (kNN), and Naïve Bayes (NB) were sufficiently fast, Support Vector Machine (SVM) and Artificial Neural Networks (ANN) were too slow.

**Keywords:** Classification, cyber security, feature selection, information security, machine learning.

## Siber Saldırı Veri Kümelerinde Standart Sapmaya Dayalı Öznitelik Seçimi Kullanan Sınıflandırma Algoritmalarının Performanslarının Karşılaştırması

### Öz

Denetimli makine öğrenimi teknikleri, geçmiş verilerden öğrenme yetenekleri nedeniyle finans, eğitim, sağlık, mühendislik vb. pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, veri kümesi çok boyutlu ise bu tür teknikler çok yavaş olabilir ve alakasız özellikler nedeniyle de sınıflandırma başarısı düşebilir. Bu nedenle, bahsedilen sorunların üstesinden gelmek için öznitelik seçme veya nitelik azaltma teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, bilgi güvenliği hem insanlar hem de ağlar için çok önemlidir ve zaman kaybetmeksizin güvence altına alınması gerekir. Bu nedenle, sınıflandırma başarısını düşürmeden algoritmaları hızlandırabilen öznitelik seçim yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, güvenlik veri kümeleri açısından standart sapmaya dayalı öznitelik seçimi kullanan en temel sınıflandırma algoritmalarının hem sınıflandırma başarılarını hem de çalışma zamanı performanslarını karşılaştırdık. Bu amaçla KDD Cup 99 (KDD) ve Phishing Legitimate veri setlerine standart sapma tabanlı öznitelik seçimi uygulayarak en ilgili nitelikleri seçtik ve seçilen sınıflandırma algoritmalarını veri setlerine uygulayarak sonuçları karşılaştırdık. Elde edilen sonuçlara göre, tüm algoritmaların sınıflandırma başarıları tatmin edici iken, Karar Ağacı (DT) diğerleri algoritmalara göre en iyisi olarak dikkat çekmiştir. Bununla birlikte, DT, k En Yakın Komşu (kNN) ve Naïve Bayes (NB) tatmin edici düzeyde hızlıken, Destek Vektör Makinesi (SVM) ve Yapay Sinir Ağları'nın (ANN) çok yavaş oldukları tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi güvenliği, makine öğrenmesi, öznitelik seçimi, sınıflandırma, siber güvenlik.

## INTRODUCTION

Machine learning approaches are commonly used in many areas like bioinformatics, image processing, financial applications, science applications, healthcare systems, information security, etc. (Deiana et al., 2022; Heidari, Jafari Navimipour, Unal, Toumaj and Applications, 2022; Khaire, Dhanalakshmi and Sciences, 2022; Şenol, Canbay and Mahmut; Zhou, Wang and Zhu, 2022). One of these approaches is classification techniques. In classification applications, algorithms learn information from past data and use this information to predict new arrival data (Şenol et al.). NB (Russell, 2010), DT (Fürnkranz, 2017), SVM (Manevitz and Yousef, 2001), kNN (Ali, Neagu and Trundle, 2019), and ANN (Jain, Mao and Mohiuddin, 1996) can be given as primary examples of classification algorithms.

Although classification algorithms are very successful, they may be too slow on high-dimensional datasets (Cheng, Cui, Wang and Zhang, 2023). Various feature selection and feature reduction methods have been proposed to overcome this issue. In the feature reduction approaches, proposed techniques project the dimensions to reduce the dimensionality (Di Mauro, Galatro, Fortino and Liotta, 2021). Linear Discriminant Analysis (LDA) and Principal Component Analysis (PCA) can be basic examples of these methods. On the other hand, in feature selection techniques, a subset of features is selected instead of using all features according to relativity to the actual classes. Correlation-based feature selection (CFS), Mutual Information (MI), Information Gain (IG), Chi-square test (Chi2), and Variance Threshold-based (VT) feature selection methods can be said as examples of them (Şenol, 2022a).

When cyber-attacks against the right of society are considered, the value of any approach that might support people against these kinds of attacks can be understood better. Machine learning-based approaches are one of them. Machine learning-based techniques could successfully detect any attack in real-time (Almaiah, Al-Zahrani, Almomani and Alhwaitat, 2021; Bahaa, Abdelaziz, Sayed, Elfangary and Fahmy, 2021; Uma and Padmavathi, 2013). Therefore, they are commonly used in information security and cyber attack areas (Abdullahi et al., 2022; Ansari, Sharma and Dash, 2022). This study compares state-of-the-art classification algorithms with standard deviation-based feature selection on cyber attack datasets. This

study aims to reveal the efficiency of classification performances of state-of-the-art algorithms with a standard deviation-based feature selection approach on cyber attack datasets. For this purpose, we used two cyber attack datasets in the experimental study.

The rest of the paper is organized as follows. The next section provides background information about used techniques and algorithms. The proposed model is described in detail in the third section, while the experimental study is shared in the fourth section. We discuss obtained results in the fifth section, while the study is concluded in the last section.

## RELATED WORKS

In parallel with technological developments, the number of cyber-attacks is increasing. So, the need for methods to protect people from such attacks is also increasing. Additionally, since the speed of data growth is enormous, these methods require various feature selection or reduction methods to increase the run-time performance of the models (Lyu, Feng, and Sakurai, 2023). Therefore, there are many studies have been conducted in this area.

One of these studies is proposed by Li et al. (Li, Fang, Chen and Guo, 2006). They used Maximum Entropy Model (ME) with IG and Chi2 feature selection methods to classify the KDD dataset. According to the results, their model's accuracy was 99.82%. Moreover, since the computational complexity of their method was low, it could be used for real-time applications. Similarly, Niguyen et al. (Niguyan, Franke and Petrovic, 2010) used DT and NB classifiers with hybrid versions of CFS to classify the KDD dataset. The DT's accuracy was better than that of NB, which were 99.41% and 98.82%, respectively.

In another study, Eid et al. (Eid, Hassanien, Kim and Banerjee, 2013) used Pearson Correlation with DT to classify the NSL-KDD dataset. According to the experimental results, the accuracy of their model was 99.1%. In addition, their model reduced the number of features from 41 to 17. However, the run-time of their model was high a little bit. Another proposed model to classify KDD-NLS dataset was proposed by Wahba et al. (Wahba, ElSalamouny and ElTaweel, 2015). Their model used CFS and IG as feature selection methods and NB as classifier. According to the results, their classifier's performance was better than Eid et al's model. The accuracy of their model was 99.3% in

accuracy. Similarly, Shahbaz et al. (Shahbaz, Wang, Behnad, Samarabandu, 2016) used DT with CFS and tested it on NSL-KDD. However, the accuracy of their model was too low. Because, the number of selected features in their model was only 4. In addition to the NSL-KDD dataset, Ullah and Mahmoud (Ullah and Mahmoud, 2017) tested their model on the ISCX dataset, which is also an intrusion detection dataset. They integrated IG into J48 classifier. The accuracy of their model on ISCX was 99.70%, while it was 99.90% on NSL-KDD.

Kushwaha et al. (Kushwaha, Buckchash, Raman, 2017) ensemble SVM with IG feature selection method. Then, they tested the model on KDD dataset. According to obtained results, the accuracy of their model was very high, which was 99.91%, although the number of selected features was 5. Another model that used SVM as classifier was proposed by Mohammadi et al. (Mohammadi, Desai and Karimipour, 2018). To improve the accuracy of their model, they used Least Squared SVM (LSSVM). In addition to KDD and NSL-KDD, they tested their model on Kyoto+ 2006 dataset. The accuracies of their model on these datasets were 94.31%, 98.31%, and 99.11%, respectively. Similarly, Wang et al. (Wang, Du and Wang, 2019) applied SVM to KDD and NSL-KDD datasets. However, they used a feature selection method called Efficient CFS which was based on symmetric uncertainty. The accuracy performance of their model was sufficient on both datasets.

On the other hand, Shabudin et al. (Shabudin, Arrifin, Sani and Aliff, 2020) proposed a study combining various feature selection methods with Random Forest (RF), Multi-Layered Perceptrons (MLP), and NB classifiers. Then, they tested their model on the Phishing Website dataset of UCI data repository. According to the experimental study, RF was the most successful classifier. On the other hand, Aljabri and Mirza (Aljabri and Mirza, 2022) proposed Machine Learning and Deep Learning with correlation-based feature selection for phishing attack detection. They used RF, Logistic Regression, Convolutional Neural Network, ANN, and SVM as classifiers while using two phishing datasets from UCI and Kaggle websites. According to the experimental comparisons, the RF was the most successful classifier.

## METHODOLOGY

In this section, we provide details about the method and algorithms used in this study.

### Classification Algorithms

This study compares some of the most known classification algorithms with standard deviation-based feature selection on two cyber-attack datasets. We used DT, SVM, kNN, NB, and ANN as classification algorithms. Because these algorithms are some of the most renowned classifiers.

DT is a supervised machine-learning algorithm for classification and regression tasks (Lee, Cheang and Moslehpour, 2022; Rivera-Lopez, Canul-Reich, Mezura-Montes, Cruz-Chávez and Computation, 2022). It is a tree-like structure where each internal node represents a feature or attribute, each branch represents a decision rule, and each leaf node represents a class label or a numerical value (Fürnkranz, 2017). It is easy to use, speedy to train and test, and also easy to understand. Furthermore, the resultant tree can be visualized easily.

On the other hand, SVM is a supervised machine-learning algorithm that can be used for classification and regression tasks. In SVM, the algorithm finds a hyperplane that best separates the different classes or predicts the continuous output values based on the input features. The hyperplane is chosen to maximize the margin between the closest points from other classes. SVM can handle linear and non-linearly separable datasets by transforming the input features into a higher-dimensional space where the classes become linearly separable. This is done using a kernel function that calculates the similarity between two instances in the higher-dimensional space. Some popular kernel functions are linear, polynomial, Gaussian (RBF), and sigmoid.

Come to kNN, it is based on the idea that assumes similar things exist nearby, which means that similar things are close to each other (Ali et al., 2019). In addition to being used in many areas, it is commonly used in pattern recognition (Maheswari, Aluvalu and Mudrakola, 2022; Malik, Abu Bakar and Sheikh, 2022; Patil and Patil, 2022). Its most crucial advantage is that it does not require the datasets to be linearly separable.

As for NB, it is a statistical classification algorithm based on the Bayes theorem. The NB algorithm statistically learns from the training dataset. It is a strong classifier in terms of accuracy and speed. NB assumes that the input features are conditionally



independent given the class label, which means that the probability of observing a set of features given a class label can be calculated by multiplying the probabilities of each feature given that class label. This assumption makes the algorithm computationally efficient and reduces the need for large training data.

Finally, ANN is a bio-inspired classification algorithm that models the neural nervous system of humans. ANN is a machine learning algorithm based on modeling the structure and function of the human brain. They are composed of interconnected nodes, or neurons, organized into layers. Each neuron takes in one or more input signals, performs a computation, and outputs a signal to the next layer of neurons. It uses a mathematical weighting system to modulate the effect of the associated input signal. ANN can be used for classification and regression tasks and can handle structured and unstructured data such as images and text. They are often used in applications such as computer vision, natural language processing, and speech recognition, where they have achieved state-of-the-art performance. However, they can be computationally expensive to train and require large amounts of data.

### Feature Selection Methods

In general, feature selection techniques are approaches that reduce the dataset's number of features. The main aim is to reduce the number of features without reducing the dataset's quality. Furthermore, this process reduces the time complexity and uses less storage while obtain satisfactory results. Mainly, feature selection techniques are divided into three types. These approaches are filters, wrappers, and embedded methods (Çetin and Yıldız, 2022; Khaire et al., 2022).

**Filter methods:** Unless using all the features, they pick up instinct features through univariate statistics. They are efficient methods in terms of speed. These methods are faster and less computationally when compared with wrapper methods. IG, Chi2 test, Fisher's score, CFS, VT, Mean Absolute Difference (MAD), and Dispersion ratio are some of filter-based feature selection methods (Khaire et al., 2022).

**Wrapper methods:** In wrapper methods, possible all subsets of features are assessed, and then the subset which produces the best results is assigned as the selected features (Kira and Rendell, 1992; Kohavi and John, 1997). These techniques use classifiers and assessment techniques to find the best

subset. In terms of dataset quality, they are better than filtering techniques. But the required time and space complexity of wrapper methods is greater than filter methods. These methods include forward feature selection, backward feature elimination, exhaustive feature selection, and recursive feature selection.

**Embedded methods:** These methods combine filter and wrapper methods' benefits by including features' interactions while maintaining reasonable computational costs. Embedded methods use an iterative method to determine the best features contributing the most to training for a given iteration. LASSO Regularization (L1) (Tibshirani, 1996) and Random Forest Importance (Breiman, 2001) can be given as examples.

### Proposed Method

This study aims to reveal the effect of using a standard deviation-based feature selection method with state-of-the-art classification algorithms on security datasets. First, we used a standard deviation-based feature selection explained in the following subsection to find the best features. Then, we ran the algorithms on selected features. Finally, we compared the performances of the models.

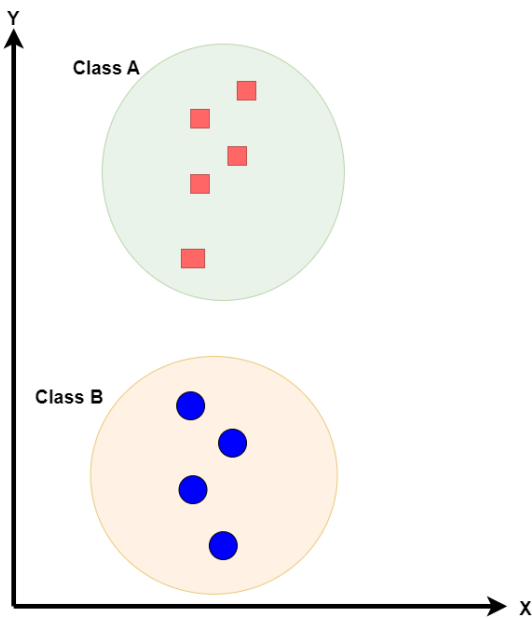
### Standard Deviation-Based Feature Selection Method

The standard deviation of any dataset shows how the data is gathered around the center. The larger the standard deviation of a feature, the greater its effect on the result (Şenol, 2022b). Therefore, if a feature has a large standard deviation, it also has more distinguishability on the results, as shown in Fig. 1 (Yousefpour, Ibrahim, Abdull Hamed and Hajmohammadi, 2014). In this example, the  $Y$  feature has more distinguishability. So, we try to select features with a large standard deviation as much as possible in standard deviation-based feature methods. In this study, we use a user-defined variable, ratio, calculated by dividing the standard deviation value of the selected one by the summation of the standard deviation of all features. Standard deviation is

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

where  $\sigma$  is the standard deviation,  $n$  is the data size,  $x_i$  is each feature's value, and  $\bar{x}$  is the mean of  $i^{\text{th}}$  feature.

After calculating the standard deviation for each feature, all features are sorted in descending order. The feature selection progress is continued until the ratio of the sum of the standard deviations of the selected features to the sum of the standard deviations of all the features is greater than the ratio. When the process is finished, the selected features are the final features that will be processed. Therefore, the algorithm we use for the standard deviation-based feature selection method is given in Algorithm 1.



**Figure 1.** An example of standard deviation with two features and two classes.

---

**Algorithm 1:** Standard Deviation based FS

---

```

Input: Data  $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \subseteq \mathbb{R}^d$ ;
ratio;  $\triangleright$ std percentage
Output: SF;  $\triangleright$ the List of Selected Features
foreach  $\sigma_j \in \sigma$  do
     $\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 
end
Features  $\leftarrow$  DesOrder( $\sigma$ );  $\triangleright$ Descending order
foreach  $f \in$  Features do
    if sum  $\leq$  ratio then
        sum=sum+f;
        SF $\leftarrow$  f;
    end
end
return SF;
    
```

---

## EXPERIMENTAL STUDY

### Experimental Environment

We used Python programming language in the experimental study in Anaconda Spyder environment and required libraries. All the experimental works were performed on a computer that has i7 processor, 16 GB RAM, and on which Microsoft Windows 11 was installed.

### Used Datasets

We used two cyber-attack datasets to compare the efficiency of classification algorithms on security datasets. One is the KDD dataset, and the other is the Phishing Legitimate dataset.

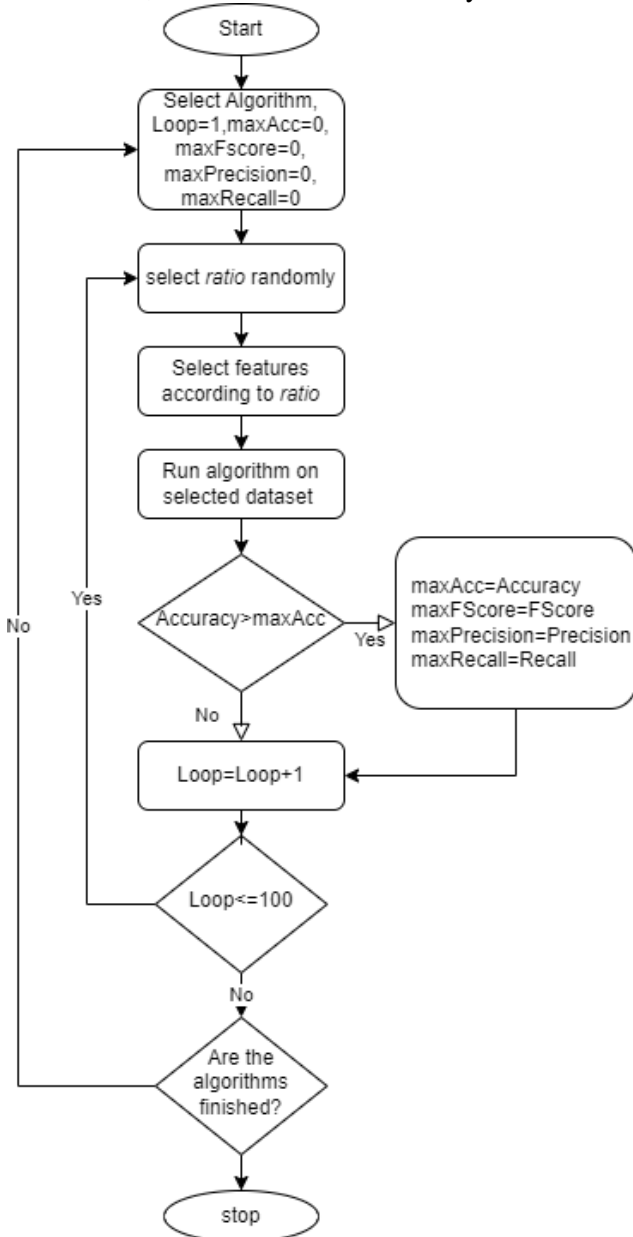
### KDD Cup 99 dataset

KDD dataset is one of the commonly used datasets in machine learning applications. It is the dataset related to the intrusion detection system. Intrusion detection systems aim to detect any attack carried out via network systems. In its original form, it consists of 5 million records, each consisting of 39 features, and one of these features is the class label that could be one of 24 classes (Dua and Graff, 2023). This study uses a subset of the KDD dataset with 50000 records to speed up the experimental process.

### Phishing Legitimate dataset

Phishing is one of the cyber attacks against human information security. These attacks aim to steal people's valuable information like bank account

information, account information on any social media,



or any other information that could be valuable for the attacker (Ojewumi et al., 2022). Phishing Legitimate dataset contains records related to phishing attacks (Tan, 2018). According to features, it is decided if it was distrustful or malicious. It has 48 features and one for the class label. It has 10 thousand records, 5 thousand are reliable, and 5 thousand are malicious.

### Test Procedure

We performed all selected classification algorithms on both datasets in the experimental study and compared the results. Firstly, we split the datasets

as 66% as the train and %34 as the test dataset. Then, to evaluate the results, we run each algorithm on each dataset 100 times with a randomly selected ratio value and parameters. The procedure's objective is to reach the highest value for each algorithm. The highest value of obtained accuracy means the best feature selection ratio is the used one. The procedure that was used to compare algorithms is shared in Fig. 2.

Figure 2. Used procedure to compare the algorithms.

## RESULTS AND DISCUSSION

### 5.1. Comparison of Classifiers in Terms of Classification Performance

All selected algorithms are executed on each dataset according to the procedure in Fig. 2. While obtained, visual results with the DT algorithm are given in Fig. 3, 4, 5, and 6, respectively; all the obtained results are given in Table (1). DT is the most successful one in classification manner on both datasets. According to obtained results, the number of the selected features as the best was 25 for DT in the KDD dataset, while it was 25, 29, 29, and 23 for NB, SVM, kNN, and ANN, respectively. As for the Phishing Legitimate dataset's selected features were 20, 42, 42, 40, and 40 for DT, NB, SVM, kNN, and ANN, respectively. When the results are analyzed, it can be said that the feature selection operation makes DT, NB, and kNN faster. On the other hand, it is not an advantageous way for SVM and ANN.

### 5.2. Comparison of Classifiers in Terms of Run-time Complexity

As shown in Fig. 7, in terms of execution time, kNN was the fastest one among them. But DT and NB were also sufficiently fast in both datasets. On the other hand, SVM and ANN were very slow when compared to the others. Besides, because of using the feature selection process, the times consumed by SVM and ANN with the feature selection method were even more significant than the times in the methods without the feature selection method in some cases. Therefore, regarding execution time, we can say that DT, NB, and kNN were sufficiently fast, but SVM and ANN were too slow on cyber-attack datasets.

## CONCLUSION

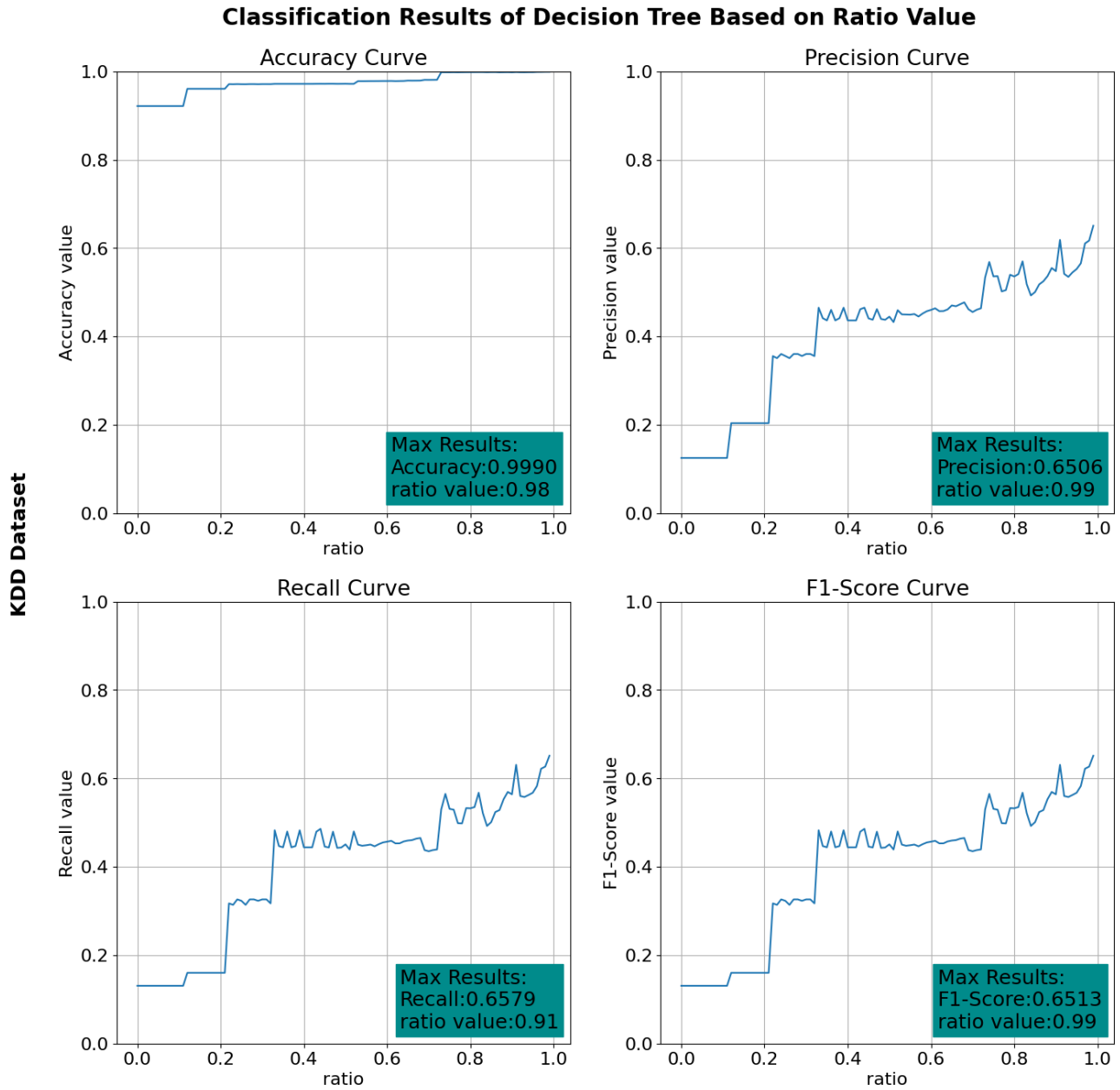
Machine learning approaches are commonly used to protect people against cyber-attacks that

*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI:10.29132/ijpas.1278880

threaten people's rights. Because machine learning can be used in detecting cyber attacks by training models on large datasets of network traffic and system logs to learn patterns of normal behaviors and abnormal behaviors. This can be done using machine learning techniques such as supervised, unsupervised, and reinforcement learning. Classification algorithms are one of the supervised approaches. On the other hand, feature selection/reduction techniques that are used to select more related features to reduce the execution time of algorithms are also widespread in the machine learning area.

This study compared state-of-the-art classification algorithms with a standard deviation-based feature selection method on cyber-attacks in

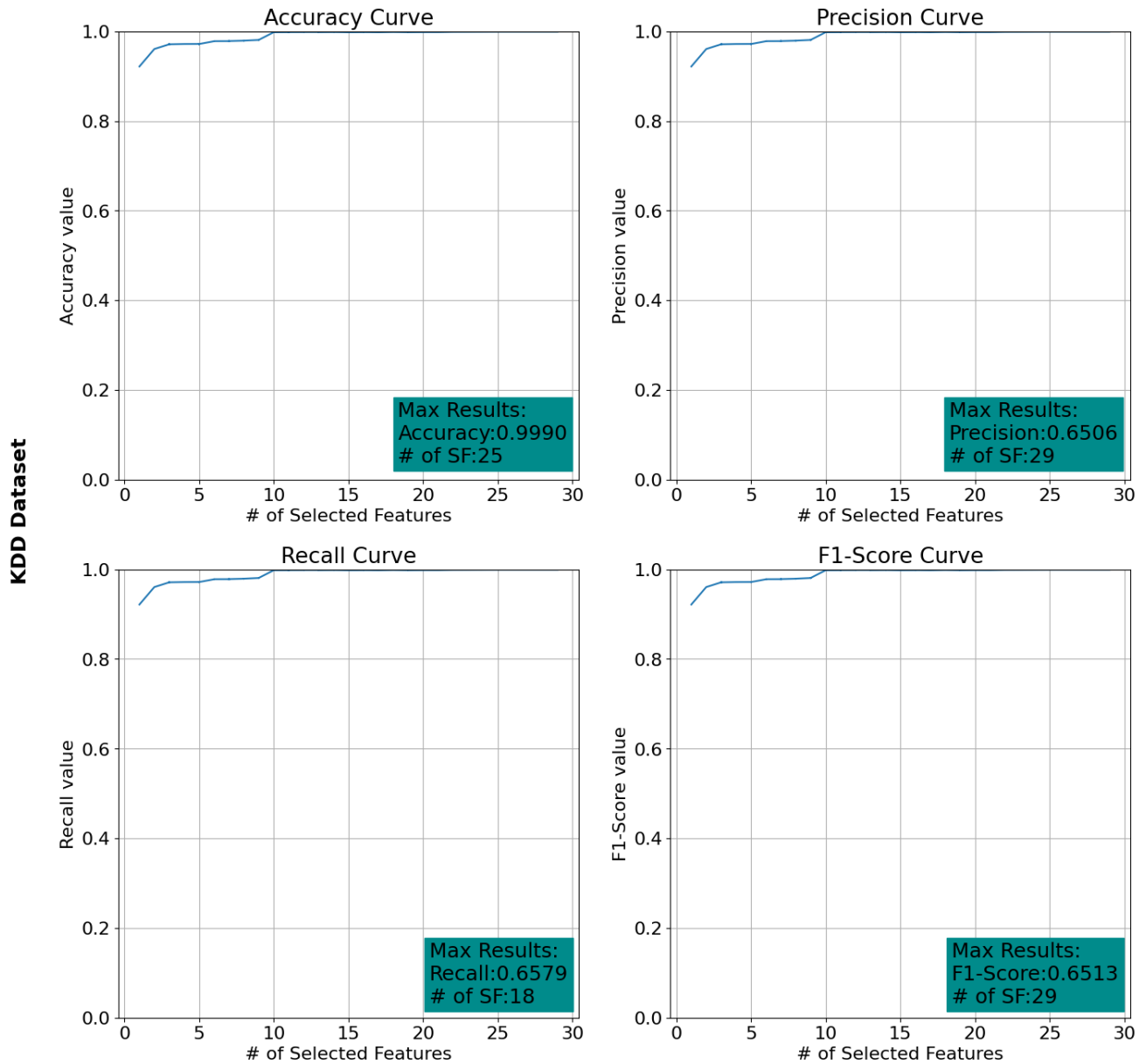
both run-time complexities and classification performance. According to obtained results, DT is the most successful algorithm in classification performance. Its accuracy on the KDD dataset was 0.9992, and on the Phishing Legitimate dataset was 0.9721, while the accuracy of SVM on the KDD dataset was 0.9982, and the accuracy of ANN on the Phishing Legitimate dataset was 0.9497 that were the second-best results. Besides, the run-time Complexity of DT is also sufficient with kNN and NB algorithms. Therefore, we can say that DT using standard deviation-based feature selection is the most suitable classification algorithm for cyber-attack datasets.



**Figure 3.** Classification results via ratio value using DT on KDD dataset.



### Classification Results of Decision Tree Based on the Number of Selected Features



# of SF: The number of selected features

**Figure 4.** Classification results via # of selected features using DT on KDD dataset.

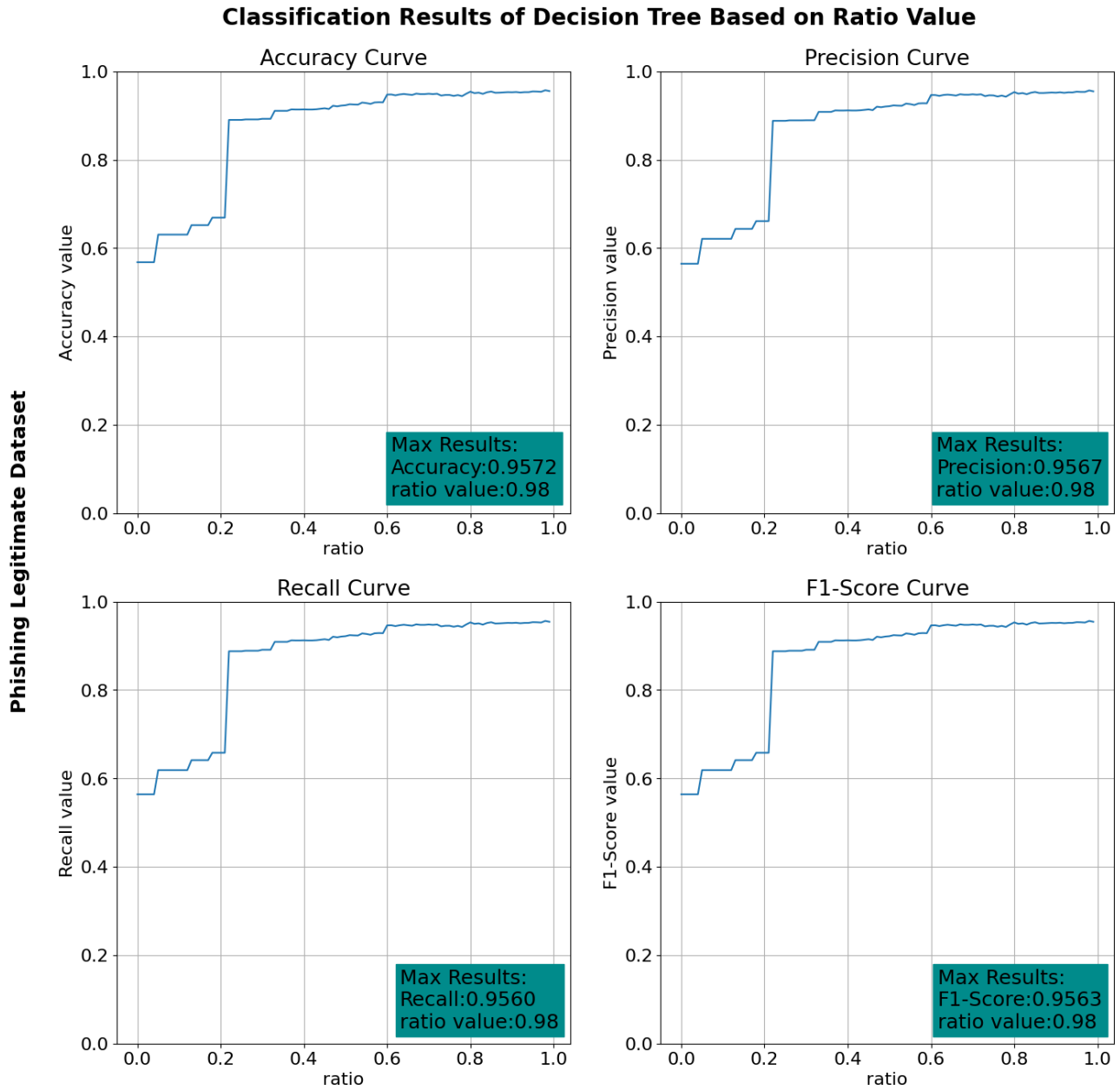
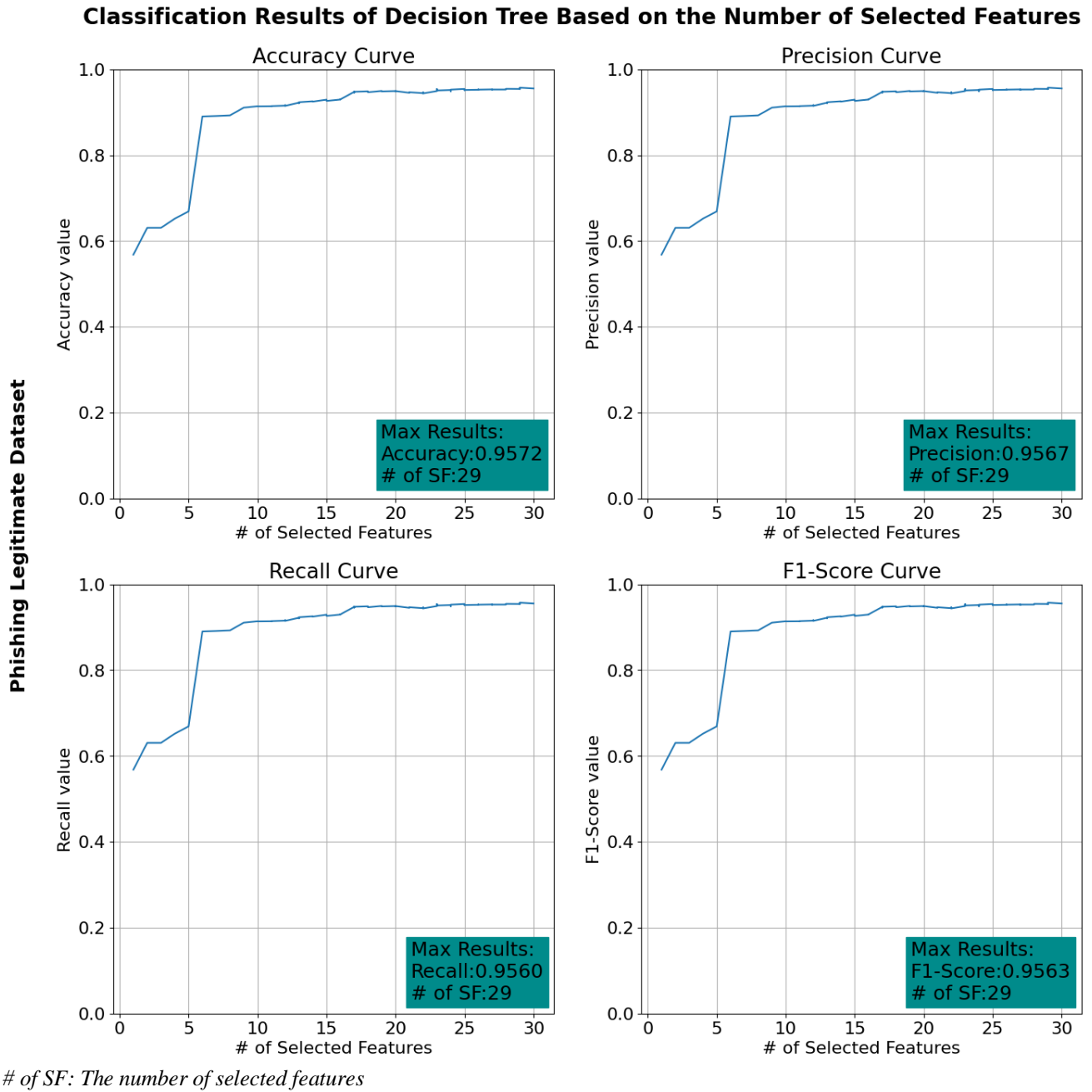


Figure 5. Classification results via ratio value using DT on Phishing Legitimate dataset.



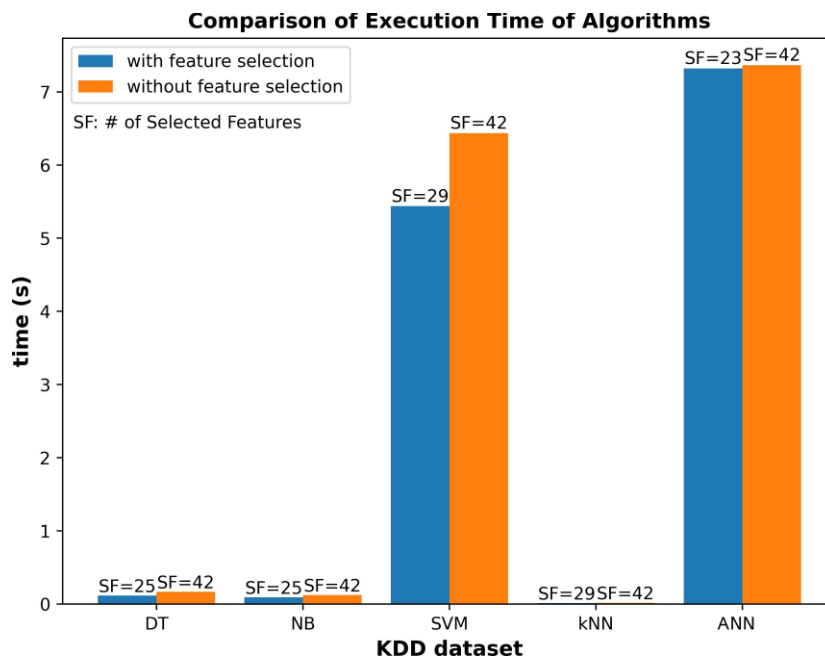
**Figure 6.** Classification results via # of selected features using DT on Phishing Legitimate.

**Table 1.** The best results of classifiers according to selected ratio values.

Datasets	Classifiers	ratio	# of Selected Features	Accuracy	F1-Score	Precision	Recall
KDD	DT	0.9800	25	<b>0.9992</b>	<b>0.6614</b>	<b>0.7022</b>	<b>0.6750</b>
	NB	0.9800	25	0.9016	0.5194	0.6965	0.5389
	SVM	0.9900	29	0.9982	0.5672	0.5577	0.5622
	kNN	0.9900	29	0.6305	0.3616	0.6369	0.3647
	ANN	0.9700	23	0.9979	0.5218	0.5426	0.5315
Phishing Legitimate	DT	0.7400	20	<b>0.9721</b>	<b>0.9722</b>	<b>0.9721</b>	<b>0.9721</b>
	NB	0.9800	42	0.8385	0.8519	0.8401	0.8374
	SVM	0.9800	42	0.9485	0.9484	0.9486	0.9485
	kNN	0.9700	40	0.8136	0.8291	0.8155	0.8120
	ANN	0.9700	40	0.9624	0.9624	0.9625	0.9624

**Table 2.** The best results of classifiers without feature selection

Datasets	Classifiers	# of Selected Features	Accuracy	F1-Score	Precision	Recall
KDD	DT	38	<b>0.9992</b>	<b>0.7293</b>	<b>0.7210</b>	<b>0.7250</b>
	NB	38	0.8737	0.5060	0.6808	0.5199
	SVM	38	0.9982	0.5672	0.5577	0.5622
	kNN	38	0.6407	0.3501	0.6385	0.349
	ANN	38	0.9882	0.2140	0.2382	0.2243
Phishing Legitimate	DT	48	<b>0.9694</b>	<b>0.9694</b>	<b>0.9694</b>	<b>0.9694</b>
	NB	48	0.8412	0.8563	0.8430	0.8400
	SVM	48	0.9482	0.9481	0.9482	0.9482
	kNN	48	0.8130	0.8281	0.8148	0.8114
	ANN	48	0.9497	0.9497	0.9497	0.9497



**Figure 7.** Comparison of algorithms in the aspect of execution time on KDD Dataset. Here, the value of the ratio which produces the highest Accuracy value was selected for each algorithm.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1278880

## CONFLICT OF INTEREST

The Author reports 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

- Abdullahi, M., Baashar, Y., Alhussian, H., Alwadain, A., Aziz, N., Capretz, L. F. and Abdulkadir, S. J. J. E. (2022). Detecting cybersecurity attacks in internet of things using artificial intelligence methods: A systematic literature review. 11(2), 198.
- Ali, N., Neagu, D. and Trundle, P. J. S. A. S. (2019). Evaluation of k-nearest neighbour classifier performance for heterogeneous data sets. 1, 1-15.
- Aljabri, M. and Mirza, S. (2022). Phishing Attacks Detection using Machine Learning and Deep Learning Models, 7th International Conference on Data Science and Machine Learning Applications (CDMA), Riyadh, Saudi Arabia, 2022, pp. 175-180, doi: 10.1109/CDMA54072.2022.00034.
- Almaiah, M. A., Al-Zahrani, A., Almomani, O. and Alhwaitat, A. K. (2021). Classification of cyber security threats on mobile devices and applications. In Artificial Intelligence and Blockchain for Future Cybersecurity Applications (pp. 107-123): Springer.
- Ansari, M. F., Sharma, P. K. and Dash, B. J. P. (2022). Prevention of phishing attacks using AI-based Cybersecurity Awareness Training.
- Bahaa, A., Abdelaziz, A., Sayed, A., Elfangary, L. and Fahmy, H. J. I. (2021). Monitoring real time security attacks for IoT systems using DevSecOps: a systematic literature review. 12(4), 154.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. Machine Learning, 45(1), 5-32. doi:10.1023/A:1010933404324
- Çetin, V. and Yıldız, O. (2022). A comprehensive review on data preprocessing techniques in data analysis. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(2), 299-312.
- Cheng, F., Cui, J., Wang Q., and Zhang, L. (2023). A Variable Granularity Search-Based Multiobjective Feature Selection Algorithm for High-Dimensional Data Classification, in IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 27, no. 2, pp. 266-280, April 2023, doi: 10.1109/TEVC.2022.3160458.
- Deiana, A. M., Tran, N., Agar, J., Blott M., Di Guglielmo G., Duarte, J. Harris, P., Hauck, S., Liu, M., Neubauer M., S., Ngadiuba J., Ogrenç-Memik, S., Pierini, M., Aarrestad, T., Bähr, S., Becker, J., Berthold A.-S., Bonventre, R. J., Müller, Bravo, T. E., Diefenthaler M., Dong, Z., Fritzsche, N., Gholami, A., Govorkova, E., Guo, D., Hazelwood, K. J., Herwig, C., Khan, B., Kim, S., Klijnsma, T., Liu, Y., Lo, K. H., Nguyen, T., Pezzullo, G., Rasoulinezhad, S., Rivera, R. A., Scholberg, K., Selig, J., Sen, S., Strukov, D., Tang, W., Thais, S., Unger, K. L., Vilalta, R., von Krosigk, B., Wang, S. and Warburton, T. K. (2022). Applications and Techniques for Fast Machine Learning in Science. Front. Big Data 5:787421. doi: 10.3389/fdata.2022.787421
- Di Mauro, M., Galatro, G., Fortino, G. and Liotta, A. (2022). Supervised feature selection techniques in network intrusion detection: A critical review, Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 101, https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104216.
- Dua, D. and Graff, C. (2019). UCI Machine Learning Repository [http://archive.ics.uci.edu/ml]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science.
- Eid, H. F., Hassanien, A. E., Kim, T. H., Banerjee, S. (2013). Linear correlation-based feature selection for network intrusion detection model. In Proceedings of the International Conference on Security of Information and Communication Networks 2013, Cairo, Egypt, 3-5 September 2013; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 240-248.
- Fürnkranz, J. (2017). Decision Tree. In C. Sammut and G. I. Webb (Eds.), Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining (pp. 330-335). Boston, MA: Springer US.
- Heidari, A., Jafari Navimipour, N., Unal, M., Toumaj, S. J. N. C. and Applications. (2022). Machine learning applications for COVID-19 outbreak management. 34(18), 15313-15348.
- Jain, A. K., Mao, J. and Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. J Computer, 29(3), 31-44. doi:10.1109/2.485891
- Khaire, U. M., Dhanalakshmi, R. (2022). Stability of feature selection algorithm: A review, Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 34(4), https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.06.012.
- Kira, K. and Rendell, L. A. (1992). The feature selection problem: traditional methods and a new algorithm. Paper presented at the Proceedings of the tenth national conference on Artificial intelligence, San Jose, California.
- Kohavi, R. and John, G. H. (1997). Wrappers for feature subset selection. Artificial Intelligence, 97(1), 273-324. doi:https://doi.org/10.1016/S0004-3702(97)00043-X
- Kushwaha, P., Buckchash, H. and Raman, B. (2017) Anomaly based intrusion detection using filter based



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1278880

- feature selection on KDD-CUP 99. In Proceedings of the TENCON 2017—2017 IEEE Region 10 Conference, Penang, Malaysia, 5–8 November 2017; pp. 839–844.
- Lee, C. S., Cheang, P. Y. S. and Moslehpour, M. J. A. i. D. S. (2022). Predictive analytics in business analytics: decision tree. *Advances in Decision Sciences*, 26(1), 1-29.
- Li, Y., Fang, B. X., Chen, Y., Guo, L. (2006). A lightweight intrusion detection model based on feature selection and maximum entropy model. In Proceedings of the 2006 International Conference on Communication Technology, Guilin, China, 27–30 November 2006; pp. 1–4.
- Lyu Y, Feng Y and Sakurai K. A Survey on Feature Selection Techniques Based on Filtering Methods for Cyber Attack Detection. *Information*. 2023; 14(3):191. <https://doi.org/10.3390/info14030191>
- Maheswari, V. U., Aluvalu, R. and Mudrakola, S. (2022). An integrated number plate recognition system through images using threshold-based methods and KNN. Paper presented at the 2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA).
- Malik, N. U. R., Abu Bakar, S. A. R. and Sheikh, U. U. (2022). Multiview human action recognition system based on OpenPose and KNN classifier. Paper presented at the Proceedings of the 11th International Conference on Robotics, Vision, Signal Processing and Power Applications: Enhancing Research and Innovation through the Fourth Industrial Revolution.
- Manevitz, L. M., and Malik Y. (2001). One-class svms for document classification. *J. Mach. Learn. Res.* 2, 139–154.
- Mohammadi, S., Desai, V., Karimipour, H. (2018). Multivariate mutual information-based feature selection for cyber intrusion detection. In Proceedings of the 2018 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Toronto, ON, Canada, 10–11 October 2018; pp. 1–6.
- Nguyen, H., Franke K. and Petrovic, S. (2010). Improving Effectiveness of Intrusion Detection by Correlation Feature Selection, 2010 International Conference on Availability, Reliability and Security, Krakow, Poland, 2010, pp. 17-24, doi: 10.1109/ARES.2010.70.
- Ojewumi, T. O., Ogunleye, G., Oguntunde, B., Folorunsho, O., Fashoto, S. and Ogbu, N. J. S. A. (2022). Performance evaluation of machine learning tools for detection of phishing attacks on web pages. 16, e01165.
- Patil, S. and Patil, Y. (2022). Face Expression Recognition Using SVM and KNN Classifier with HOG Features. In *Applied Computational Technologies: Proceedings of ICCET 2022* (pp. 416-424): Springer.
- Rivera-Lopez, R., Canul-Reich, J., Mezura-Montes, E., Cruz-Chávez, M. A. J. S. and Computation, E. (2022). Induction of decision trees as classification models through metaheuristics. 69, 101006.
- Russell, S. J. (2010). *Artificial intelligence a modern approach*: Pearson Education, Inc.
- Shabudin, S., Samsiah, N., Akram, K. and Aliff, M. (2020). Feature Selection for Phishing Website Classification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11.
- Shahbaz, M.B., Wang, X., Behnad, A., Samarabandu, J. (2016). On efficiency enhancement of the correlation-based feature selection for intrusion detection systems. In Proceedings of the 2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, BC, Canada, 13–15 October 2016; pp. 1–7
- Şenol, A. (2022a). Comparison of Feature Selection Methods in the Aspect of Phishing Attacks. Paper presented at the International Conference on Engineering Technologies, ICENTE'22, Konya.
- Şenol, A. (2022b). Standard Deviation-Based Centroid Initialization For K-Means. Paper presented at the 3. International Anatolian Scientific Research Congress, Kayseri.
- Şenol, A., Canbay, Y. and Kaya, M. (2021). Trends in Outbreak Detection in Early Stage by Using Machine Learning Approaches. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(4), 355-366.
- Tan, C. L. (2018). Phishing Dataset for Machine Learning: Feature Evaluation.
- Tibshirani, R. (1996). Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 58(1), 267-288.
- Uma, M. and Padmavathi, G. (2013) A Survey on Various Cyber Attacks and Their Classification. *International Journal of Network Security*, 15, 390-396..
- Wahba, Y., ElSalamouny, E., ElTaweel, G. (2015). Improving the performance of multi-class intrusion detection systems using feature reduction. arXiv:1507.06692
- Wang, W., Du, X., Wang, N. (2019). Building a cloud IDS using an efficient feature selection method and SVM. *IEEE Access* 2018, 7, 1345–1354.
- Yousefpour, A., Ibrahim, R., Abdull Hamed, H. N. and Hajmohammadi, M. S. (2014). Feature reduction using standard deviation with different subsets selection in sentiment analysis. Paper presented at the Intelligent Information and Database Systems: 6th Asian Conference, ACIIDS 2014, Bangkok, Thailand, April 7-9, 2014, Proceedings, Part II 6.
- Zhou, H., Wang, X. and Zhu, R. J. A. I. (2022). Feature selection based on mutual information with correlation coefficient. 1-18.