

SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

SİNOP UNIVERSITY
JOURNAL OF NATURAL SCIENCES

Cilt/Volume 6

Sayı/Number 1

Sinop Üniversitesi'nin 36. Bilimsel Yayınıdır.

It is the 36th Scientific Publication of Sinop University.

ISSN 2536-4383/e-ISSN 2564-7873

SİNOP ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Sinop University Journal of Natural Sciences

SAHİBİ/PUBLISHER

Prof. Dr. Nihat DALGIN (Sinop Üniversitesi Rektörü/Rector)

EDİTÖR/EDITOR

Prof. Dr. Türkay ÖZTÜRK

YARDIMCI EDİTÖR/ASSISTANT EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Sevda YILDIZ

EDİTÖR KURULU/EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Kamil DEMİRCİ

Prof. Dr. Ahmet TABAK

Prof. Dr. Cem Cüneyt ERSANLI

Prof. Dr. Ahmet ÖZER

Prof. Dr. Hülya TURAN

Prof. Dr. Levent BAT

Prof. Dr. Şükrü ÇELİK

Prof. Dr. Hülya ÖZLER

Doç. Dr. Emel ÇANKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Levent ÖNCEL

Dr. Öğr. Üyesi Oylum GÖKKURT BAKI

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKI

Prof. Dr. Carlo BARDARO

Prof. Dr. Kulwinder SINGH MANN

Prof. Dr. Richard P. PATTERSON

Prof. Dr. Vishwanath P. SINGH

Doç. Dr. Jakrapong KAEWKHAO

Dr. Julia KORNYCHUK

Dr. Bahaeddine TAOUFİK

DİL EDİTÖRLERİ (İNGİLİZCE)/LANGUAGE EDITORS (ENGLISH)

Doç.Dr. Murat UZUNCA

MİZANPAJ EDİTÖRÜ/LAYOUT EDITOR

Dr. Bengünur ÇORAPCI

ADRES/ADDRESS

Sinop Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Osmaniye Köyü Nasuhbeyoğlu Mah. Fen-Edebiyat Fakültesi Yerleşkesi-SİNOP

Tel: 0 368 271 57 28 **Faks:** 0 368 271 57 29

<https://dergipark.org.tr/sinopfbd>

e-Posta: sufbd@sinop.edu.tr

Araştırma Makaleleri/Research Articles

Sayfa/Page

Domination Edge Integrity of Corona Products of C_n with P_m , C_m , $K_{(1,m)}$ 1

C_n ile P_m , C_m , $K_{(1,m)}$ Graflarının Corona Çarpımlarının Ayırıt Baskın Bütünlüğü

Elgin KILIÇ and Ayşe BEŞİRİK

Malahit Yeşilinin Gideriminde Şeftali Çekirdeği Kabuğu: Karakterizasyon ve Kinetik İnceleme 9

Peach Core Shell for Removal of Malachite Green: Characterization and Kinetics Analysis

Erbil KAVCI, Bünyamin DÖNMEZ, Ali ÇİÇEKÇİ ve Ömer LAÇIN

Beklenen Aralığa Dayanan Aralık Tip II Üssel Bulanık Sayının Aralık Tip II Parametrik Yamuk Bulanık Sayı Yakınsaması 21

Interval Type II Parametric Trapezoidal Fuzzy Number Approximation of Interval Type II Exponential Fuzzy Number Based on The Expected Interval

Sinem PEKER ve Efendi NASİBOĞLU

Analysis of ${}^9\text{Be}$ Fusion Cross Sections via a Simple Cluster Model 33

Basit Bir Küme Modeli Aracılığıyla ${}^9\text{Be}$ Füzyon Tesir Kesitlerinin Analizi

Murat AYGUN

Elektrikli Araçlarda DA Hızlı Şarj Ünitelerinin Şebeke Altyapısına Etkilerinin İncelenmesi 42

Investigation of the Effects of DC Fast Charging Units on Network Infrastructure in Electric Vehicles

Aykut Fatih GÜVEN ve Salih Burak AKBAŞAK

Bakır(II)-Nikotinamid İçeren Yeni Kompleksin Yapısal ve Spektroskopik Özellikler Açısından İncelenmesi 55

Investigation of the Novel Complex with Copper(II)-Nicotinamide in Terms of Structural and Spectroscopic Properties

Tuğba AYGUN

Derlemeler/Reviews

Sayfa/Page

Coronavirus: A Biochemical Approach 66

Biyokimyasal Açısından Koronavirüs

Aysel GÜVEN, Tülay ALLAHVERDİ and Özge Deniz GÜVEN

Geleneksel ve Yenilikçi Paketleme Teknolojileri: Balık Eti Muhafazasında Potansiyel Kullanımı 78

Traditional and Innovative Packaging Technologies: Potential Use in Fish Meat Storage

Nazan KUTLU, Zafer CEYLAN, Mehmet Mustafa EKİN ve Raciye MERAL



Domination Edge Integrity of Corona Products of C_n with $P_m, C_m, K_{1,m}$

Elgin KILIÇ¹ and Ayşe BEŞİRİK¹

How to cite: Kılıç, E., & Beşirik, A. (2021). Domination edge integrity of corona products of C_n with $P_m, C_m, K_{1,m}$. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-8. <https://doi.org/10.33484/sinopfdb.692700>

Research Article

Corresponding Author

Elgin KILIÇ
elginkilic@gmail.com

ORCID of the Authors

E.K.: 0000-0002-1074-5589
A.B.: 0000-0002-3980-196X

Received: 21.02.2020

Accepted: 19.01.2021

Abstract

Vulnerability is the most important concept in analysis of communication networks to disruption. Any network can be modelled by graphs so measures defined on graphs gives an idea in design. Integrity is one of the well-known vulnerability measures interested in remaining structure of a graph after any failure. Domination is also an another popular concept in network design. Nowadays new vulnerability measures take a great role in any failure not only on nodes also on links which have special properties. A new measure domination edge integrity of a connected and undirected graph was defined such as $DI'(G) = \min\{|S| + m(G - S) : S \subseteq E(G)\}$ where $m(G - S)$ is the order of a maximum component of $G - S$ and S is an edge dominating set. In this paper some results concerning this parameter on corona products of graph structures $C_n \odot C_m, C_n \odot P_m, C_n \odot K_{1,m}$ are presented.

Keywords: Corona product, domination, edge domination, edge integrity, edge domination integrity

C_n ile $P_m, C_m, K_{1,m}$ Graflarının Corona Çarpımlarının Ayrıt Baskın Bütünlüğü

¹Ege University, Department of Mathematics, Faculty of Science, Izmir, Turkey

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Öz

Zedelenebilirlik, bir iletişim ağının bozulmalara karşı yapılan analizindeki en önemli kavramdır. Herhangi bir ağ graflar ile modellenen böylece graflar üzerinde tanımlanan ölçümler tasarımda bir fikir verir. Bütünlük kavramı herhangi bir bozulmadan sonra grafta geriye kalan yapılarla ilgilenen en çok bilinen zedelenebilirlik ölçümlerindedir. Baskınlık da ağ tasarımda yaygın olarak kullanılan önemli bir kavramdır. Günümüzde sadece tepeler üzerinde değil belirli bir özelliğe sahip ayrıtlar üzerinde oluşan hatalarda yeni zedelenebilirlik ölçümleri önemli rol oynamaktadır. Yeni bir ölçüm olan birleştirilmiş yönsüz bir grafin ayrıt baskın bütünlüğü $DI'(G) = \min\{|S| + m(G - S) : S \subseteq E(G)\}$ olarak tanımlanmıştır, burada $m(G - S)$ $G - S$ deki en büyük bileşenin tepe sayısını göstermekte ve S bir ayrıt baskın kümedir. Bu çalışmada bu ölçüm ile ilgili bazı sonuçları $C_n \odot C_m, C_n \odot P_m, C_n \odot K_{1,m}$ corona çarpımlarının oluşturduğu graf yapılarında gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Corona çarpımı, baskınlık, ayrıt baskınlık bütünlüğü, ayrıt bütünlük, ayrıt baskınlık

Introduction

A communication network can be modeled by a graph G where nodes are represented by vertices

and links are represented by edges such as $V(G), E(G)$ respectively. Any communication network can be considered to be highly

vulnerable to any disruption on its nodes or links. All graphs considered in this paper are connected, undirected and do not contain any loops and multiple edges. First basic vulnerability measures are connectivity or edge connectivity which shows how easily a graph can be broken apart.

Later on, it is observed that these measures are not enough to compare the stability of network structures which have the same order. Most network designers are interested in what happens in the remaining part of the network after failures such as, how many nodes or links are still connected to each other and what is the communication between remaining parts. Integrity and edge integrity concepts are interested in these questions. Both types of integrity were introduced by Barefoot et al. [1] and Goddard and Swart [2] has great contributions for this area. Integrity or edge integrity have been widely studied on specific graph families and relationships with other parameters and bounds were obtained Bagga et al. have presented many results about edge integrity in [3].

The order of a graph G will generally be denoted by n . For a real number x ; $\lfloor x \rfloor$ denotes the greatest integer less than or equal to x and $\lceil x \rceil$ denotes the smallest integer greater than or equal to x .

Domination is another important concept widely studied in graph theory. A subset S of V is called a dominating set of G if every vertex not in S is adjacent to some vertex in S . The domination number $\gamma(G)$ (or γ for short) of G

is the minimum cardinality taken over all dominating sets of G [4].

Hedetniemi and Mitchell [5] have introduced the concept of edge domination. A subset X of E is called an edge dominating set of G if every edge not in X is adjacent to some edge in X . The edge domination number $\gamma'(G)$ (or γ' for short) of G is the minimum cardinality taken over all edge dominating sets of G .

Domination and integrity were examined together and many new vulnerability measures were defined. Some of them are domination integrity [6], domination edge integrity [7], and total domination integrity [8].

The concept of domination edge integrity of a connected graph as a new vulnerability parameter was defined by Kılıç and Beşirik [7] as follows.

The domination edge integrity of a connected graph G denoted by $DI'(G)$ and defined by

$$DI'(G) = \min\{|S| + m(G - S)\}$$

where S is an edge dominating set and $m(G - S)$ is the order of a maximum component of $G - S$.

A subset S of $E(G)$ is a DI' -set if

$$DI'(G) = \{|S| + m(G - S) : S \subseteq E(G)\}$$

where S is an edge dominating set of G .

DI' values of $P_n, C_n, K_{1,n}, K_{m,n}$ were presented and some properties for domination edge integrity value of a connected graph were determined in [7].

DI' of Corona Products of C_n with some graphs

DI' values of some resulting graphs after corona operation of C_n with $P_m, C_m, K_{1,m}$ are found as follows.

Definition The corona product $G_1 \odot G_2$ is defined as G obtained by taking one copy of G_1 of order p_1 and p_1 copies of G_2 , and then joining the i 'th node of G_1 to every node in the i 'th copy of G_2 [9].

Proposition 1 [10] Let n be an integer,

$$\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + \lceil \frac{n}{2} \rceil = n.$$

In proof of all theorems, for graph G of order m , edge dominating sets X_1 and X_2 are taken which satisfies, $m(C_n \odot G - X_1) = 2(m + 1)$ and $m(C_n \odot G - X_2) = m + 1$ respectively (Figure 1). There is no any other possible selection of edge dominating sets which gives DI' to be minimum. If X_3 is taken to be another edge dominating set, cardinality of X_3 is greater than both X_1 and X_2 . It is easy to observe from structure of corona product of C_n with any graph G . And also $m(C_n \odot G - X_3) > 2(m + 1)$ since more edges are added. This selection does not give a minimum result.

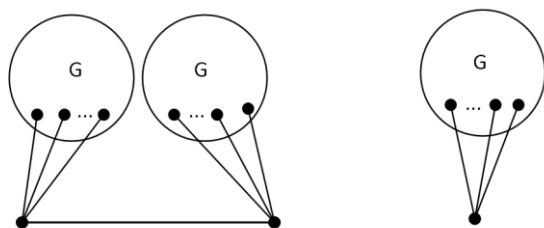


Figure 1. Maximum components of $(C_n \odot G) - X_1$ and $(C_n \odot G) - X_2$

Theorem For $n \geq 3$ and $m \geq 2$, let n to be odd and A, B to be as follows,

$$A = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m-1}{3} \rfloor + 2m + 2,$$

$$B = n + n \lfloor \frac{m-1}{3} \rfloor + m + 1.$$

Then, $DI'(C_n \odot P_m)$ is obtained as follows,

$$DI'(C_n \odot P_m) = \begin{cases} A & , \text{if } m + 1 < \lfloor \frac{n}{2} \rfloor, \\ B & , \text{if } m + 1 > \lfloor \frac{n}{2} \rfloor, \\ A = B & , \text{if } m + 1 = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor. \end{cases}$$

Proof Let $V(C_n) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ and $V(P_m) = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ vertex sets for cycle graph C_n and path graph P_m .

Let $E(C_n) = \{v_1v_2, v_2v_3, \dots, v_{n-1}v_n, v_nv_1\}$ and $E(P_m) = \{u_1u_2, \dots, u_{m-1}u_m\}$ be edge sets respectively.

For $n \geq 3$, we have 2 cases as follows.

Case 1 Let X_1 be an edge dominating set of $C_n \odot P_m$. Then the size of maximum component will be as

$m(C_n \odot P_m - X_1) = 2(m + 1)$. X_1 is obtained as follows.

Let $S_1 \subset E(C_n)$ be an edge dominating set of C_n and $|S_1| = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$.

Let S_{2_i} be a minimum edge dominating set of i th copy of P_m and $|S_{2_i}| = \lfloor \frac{m-1}{3} \rfloor$ and

$$S_2 = S_{2_1} \cup S_{2_2} \cup \dots \cup S_{2_n}.$$

$X_1 = S_1 \cup S_2$ is an edge dominating set of $C_n \odot P_m$. Therefore, $|X_1| = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m-1}{3} \rfloor$ and $m(C_n \odot P_m - X_1) = 2(m + 1)$. Thus,

$$\begin{aligned}
 DI'(C_n \odot P_m) &\leq |X_1| + m(C_n \odot P_m - X_1) \\
 &= \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + 2m + 2 \\
 &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_1}.
 \end{aligned}$$

Case 2 Let X_2 be an edge dominating set of $C_n \odot P_m$ and then size of maximum component will be $m(C_n \odot P_m - X_2) = m + 1$. X_2 is obtained as follows.

Let $S'_1 = E(C_n)$. S'_1 be an edge dominating set of C_n and $|S'_1| = n$.

Let S_{2_i} be a minimum edge dominating set of i th copy of P_m and $|S_{2_i}| = \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor$ and

$$S_2 = S_{2_1} \cup S_{2_2} \cup \dots \cup S_{2_n}.$$

$X_2 = S'_1 \cup S_2$ is an edge dominating set of $C_n \odot P_m$. Therefore, $|X_2| = n + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor$ and $m(C_n \odot P_m - X_2) = m + 1$. Thus,

$$\begin{aligned}
 DI'(C_n \odot P_m) &\leq |X_2| + m(C_n \odot P_m - X_2) \\
 &= n + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + m + 1 \\
 &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_2}.
 \end{aligned}$$

Because of definition of DI' , the values and similarities under corona operation $DI'(C_n \odot P_m)_{X_1}$ and $DI'(C_n \odot P_m)_{X_2}$ must be examined as follows.

i. If $m + 1 < \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$, then we have

$$\begin{aligned}
 DI'(C_n \odot P_m)_{X_1} &\text{ to be} \\
 &= \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + 2m + 2 \\
 &= \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + m + 1 + m + 1
 \end{aligned}$$

$$< \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + m + 1,$$

by Proposition 1

$$\begin{aligned}
 &= n + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + m + 1 \\
 &= n + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + m + 1 \\
 &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_2}.
 \end{aligned}$$

Since $DI'(C_n \odot P_m)_{X_1} < DI'(C_n \odot P_m)_{X_2}$, then

$$\begin{aligned}
 DI'(C_n \odot P_m) &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_1} \\
 &= \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + 2m + 2.
 \end{aligned}$$

ii. If $m + 1 > \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$, then we have

$$\begin{aligned}
 DI'(C_n \odot P_m)_{X_2} &< DI'(C_n \odot P_m)_{X_1}. \text{ It can be} \\
 &\text{proved in a similar way as above. Thus,} \\
 DI'(C_n \odot P_m) &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_2} \\
 &= n + n \left\lfloor \frac{m-1}{3} \right\rfloor + m + 1.
 \end{aligned}$$

iii. If $m + 1 = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$, then we have

$$\begin{aligned}
 DI'(C_n \odot P_m)_{X_1} &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_2}. \text{ Hence,} \\
 DI'(C_n \odot P_m) &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_1} \\
 &= DI'(C_n \odot P_m)_{X_2}.
 \end{aligned}$$

Theorem For $n \geq 3$ and $m \geq 3$, let n to be odd and A, B to be as follows,

$$A = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m}{3} \right\rfloor + 2m + 2,$$

$$B = n + n \left\lfloor \frac{m}{3} \right\rfloor + m + 1.$$

Then, $DI'(C_n \odot C_m)$ is obtained as follows,

$$DI'(C_n \odot C_m) = \begin{cases} A & , \text{if } m + 1 < \lfloor \frac{n}{2} \rfloor, \\ B & , \text{if } m + 1 > \lfloor \frac{n}{2} \rfloor, \\ A = B, & \text{if } m + 1 = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor. \end{cases}$$

Proof Let $V(C_n) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ and $V(C_m) = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ be vertex sets for for cycle graphs C_n and C_m . And let

$E(C_n) = \{v_1v_2, v_2v_3, \dots, v_{n-1}v_n, v_nv_1\}$ and $E(C_m) = \{u_1u_2, \dots, u_{m-1}u_m, u_mu_1\}$ be edges sets of cycle graphs C_n and C_m .

For $n \geq 3$, we have 2 cases as follows.

Case 1 Let X_1 be an edge dominating set of $C_n \odot C_m$ and $m(C_n \odot C_m - X_1) = 2(m + 1)$. X_1 is obtained as follows.

Let $S_1 \subset E(C_n)$ be an edge dominating set of C_n and $|S_1| = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$.

Let S_{2_i} be a minimum edge dominating set of i th copy of C_m and $|S_{2_i}| = \lfloor \frac{m}{3} \rfloor$ and

$$S_2 = S_{2_1} \cup S_{2_2} \cup \dots \cup S_{2_n}.$$

$X_1 = S_1 \cup S_2$ is an edge dominating set of $C_n \odot C_m$. Therefore, $|X_1| = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor$ and $m(C_n \odot C_m - X_1) = 2(m + 1)$. Thus,

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot C_m) &\leq |X_1| + m(C_n \odot C_m - X_1) \\ &= \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + 2m + 2 \\ &= DI'(C_n \odot C_m)_{X_1}. \end{aligned}$$

Case 2 Let X_2 be an edge dominating set of $C_n \odot C_m$ and $m(C_n \odot C_m - X_2) = m + 1$. X_2 is obtained as follows.

Let $S'_1 = E(C_n)$. S'_1 is an edge dominating set of C_n and $|S'_1| = n$.

Let S_{2_i} be a minimum edge dominating set of i th copy of C_m and $|S_{2_i}| = \lfloor \frac{m}{3} \rfloor$ and

$$S_2 = S_{2_1} \cup S_{2_2} \cup \dots \cup S_{2_n}.$$

$X_2 = S'_1 \cup S_2$ is an edge dominating set of $C_n \odot C_m$. Therefore, $|X_2| = n + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor$ and

$m(C_n \odot C_m - X_2) = m + 1$. Thus,

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot C_m) &\leq |X_2| + m(C_n \odot C_m - X_2) \\ &= n + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + m + 1 \\ &= DI'(C_n \odot C_m)_{X_2}. \end{aligned}$$

Because of definition of DI' , the relationship between $DI'(C_n \odot C_m)_{X_1}$ and $DI'(C_n \odot C_m)_{X_2}$ must be examined as follows.

i. If $m + 1 < \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, then we have

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot C_m)_{X_1} &= \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + 2m + 2 \\ &= \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + m + 1 + m + 1 \\ &< \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + m + 1 \end{aligned}$$

by Proposition 1

$$\begin{aligned} &= n + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + m + 1 \\ &= n + n \lfloor \frac{m}{3} \rfloor + m + 1 = DI'(C_n \odot C_m)_{X_2}. \end{aligned}$$

Since $DI'(C_n \odot C_m)_{X_1} < DI'(C_n \odot C_m)_{X_2}$, then

$$DI'(C_n \odot C_m) = DI'(C_n \odot C_m)_{X_1}$$

$$= \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n \left\lfloor \frac{m}{3} \right\rfloor + 2m + 2.$$

ii. If $m + 1 > \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$, then we have

$$DI'(C_n \odot C_m)_{X_2} < DI'(C_n \odot C_m)_{X_1}.$$

It can be proved in a similar way as above.

Therefore,

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot C_m) &= DI'(C_n \odot C_m)_{X_2} \\ &= n + n \left\lfloor \frac{m}{3} \right\rfloor + m + 1. \end{aligned}$$

iii. If $m + 1 = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$, then we have

$$DI'(C_n \odot C_m)_{X_1} = DI'(C_n \odot C_m)_{X_2}.$$

Hence,

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot C_m) &= DI'(C_n \odot C_m)_{X_1} \\ &= DI'(C_n \odot C_m)_{X_2}. \end{aligned}$$

Theorem For $n \geq 3$, let $A = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n + 2m + 4$ and $B = 2n + m + 2$. Then,

$DI'(C_n \odot K_{1,m})$ is obtained as follows,

$$DI'(C_n \odot K_{1,m}) = \begin{cases} A & , \text{if } m + 2 < \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \\ B & , \text{if } m + 2 > \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \\ A = B, & \text{if } m + 2 = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor. \end{cases}$$

Proof Let $V(C_n) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ for cycle graph C_n and for each i th copy of $K_{1,m}$ with the vertex set

$$\begin{aligned} V_i(K_{1,m}) &= \{u_{1_i}, u_{2_i}, \dots, u_{m_i}, u_{m+1_i}\}. \quad (u_{1_i} \text{ is} \\ &\text{central vertex of } i\text{th copy of } K_{1,m}) \text{ and edge sets} \\ &\text{be } E(C_n) = \{v_1v_2, v_2v_3, \dots, v_{n-1}v_n, v_nv_1\}, \\ E_i(K_{1,m}) &= \{u_{1_i}u_{2_i}, \dots, u_{1_i}u_{m_i}, u_{1_i}u_{m+1_i}\}. \end{aligned}$$

For $n \geq 3$ we have 2 cases as follows.

Case 1 Let X_1 be an edge dominating set of $C_n \odot K_{1,m}$ and $m(C_n \odot K_{1,m} - X_1) = 2(m + 2)$. X_1 is obtained as follows.

Let $S_1 \subset E(C_n)$ be S_1 an edge dominating set of C_n and $|S_1| = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$.

$S_2 = \{v_1u_{1_1}, v_2u_{1_2}, \dots, v_nu_{1_n}\}$ is a minimum edge dominating set of $C_n \odot K_{1,m} - E(C_n)$ and $|S_2| = n$.

$S_1 \cup S_2$ is an edge dominating set of $C_n \odot K_{1,m}$.

Therefore, $|X_1| = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n$ and

$m(C_n \odot P_m - X_1) = 2(m + 2)$. Thus,

$$DI'(C_n \odot K_{1,m}) \leq |X_1| + m(C_n \odot K_{1,m} - X_1) = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + n + 2m + 4 = DI'(C_n \odot P_m)_{X_1}.$$

Case 2 Let X_2 be an edge dominating set of $C_n \odot K_{1,m}$ and $m(C_n \odot K_{1,m} - X_2) = m + 2$. X_2 is obtained as follows.

Let $S'_1 = E(C_n)$. S'_1 is an edge dominating set of C_n and $|S'_1| = n$.

$S_2 = \{v_1u_{1_1}, v_2u_{1_2}, \dots, v_nu_{1_n}\}$ is a minimum edge dominating set of $C_n \odot K_{1,m} - E(C_n)$ and $|S_2| = n$.

$X_2 = S'_1 \cup S_2$ is an edge dominating set of $C_n \odot K_{1,m}$. Therefore, $|X_2| = n + n = 2n$ and $m(C_n \odot K_{1,m} - X_2) = m + 2$. Thus,

$$DI'(C_n \odot K_{1,m}) \leq |X_2| + m(C_n \odot K_{1,m} - X_2) = 2n + m + 2 = DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2}.$$

Because of definition of DI' , the relationship between $DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1}$ and $DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2}$ must be examined as follows.

i. If $m + 2 < \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, then we have

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1} &= \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n + 2m + 4 \\ &= \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n + m + 2 + m + 2 \\ &< \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + m + 2, \end{aligned}$$

by Proposition 1,

$$\begin{aligned} &= n + n + m + 2 = 2n + \\ m + 2 &= DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2}. \end{aligned}$$

Since,

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1} &< DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2}, \text{ then} \\ DI'(C_n \odot K_{1,m}) &= DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1} \\ &= \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + n + 2m + 4. \end{aligned}$$

ii. If $m + 2 > \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, then we have $DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2} < DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1}$. It can be proved in a similar way as above. Therefore,

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot K_{1,m}) &= DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2} \\ &= 2n + m + 2. \end{aligned}$$

iii. If $m + 2 = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, then we have

$$DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1} = DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2}.$$

Hence,

References

- [1] Barefoot, C. A., Entringer, R., & Swart, H. (1987). Vulnerability in graphs-a comparative survey. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, 1(38), 13-22.
- [2] Goddard, W., & Swart, H. C. (1990). Integrity in graphs: bounds and basics. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, 7, 139-151.
- [3] Bagga, K. S., Beineke, L. W., Lipman, M. J., & Pippert, R. E. (1994). Edge-integrity: a survey. *Discrete mathematics*, 124(1-3), 3-12. [https://doi.org/10.1016/0012-365X\(94\)90084-1](https://doi.org/10.1016/0012-365X(94)90084-1)

$$\begin{aligned} DI'(C_n \odot K_{1,m}) &= DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_1} \\ &= DI'(C_n \odot K_{1,m})_{X_2}. \end{aligned}$$

Conclusion

Edge domination and integrity are important measures for network designers. Domination edge integrity [7, 11] is a new measure which combines these two concepts. In this paper, domination edge integrity of some graphs under corona operation is examined such as $C_n \odot P_m$, $C_n \odot C_m$, $C_n \odot K_{1,n}$ and some results are obtained.

Acknowledgments -

Funding/Financial Disclosure The authors have no received any financial support for the research, authorship, or publication of this study.

Ethics Committee Approval and Permissions -

Conflict of Interests The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors Contribution All authors have contributed sufficiently in the planning, execution, or analysis of this study to be included as authors. All authors read and approved the final manuscript.

- [4] Arumugam, S., & Velammal, S. (1998). Edge domination in graphs. *Taiwanese journal of Mathematics*, 2(2), 173-179. <https://doi.org/10.11650/twjm/1500406930>
- [5] Hedetniemi, S. T., & Mitchell, S. (1977). Edge domination in trees. In *Proc. 8th SE Conf. Combin., Graph Theory and Computing, Congr. Numer.*, 19, 489-509.
- [6] Sundareswaran, R., & Swaminathan, V. (2010). Domination integrity in graphs. In *Proceedings of International Conference on Mathematical and Experimental Physics* (pp. 46-57). Narosa Publishing House.
- [7] Kılıç, E., & Beşirik, A. (2018). Domination edge integrity of graphs. *Advanced Mathematical Models and Applications*, 3(3), 234-238.
- [8] Beşirik, A. (2019). Total domination integrity of graphs. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 4(1), 11-19.
- [9] Buckley, F., & Harary, F. (1990). Distance in graphs. *New York: Addison and Wesley*.
- [10] Graham, L., Knuth, D. E., & Patashnik, O. (1989). Concrete Mathematics *Addison-Wesley Publishing Company, New York*, pg 79.
- [11] Kılıç, E., & Beşirik, A. (2020). Domination Edge Integrity of Corona Products of P_n with P_m , C_m , $K_{1,m}$. *Journal of Mathematical Sciences and Modelling*, 3(1), 25-31. <https://doi.org/10.33187/jmsm.638124>



Malahit Yeşilinin Gideriminde Şeftali Çekirdeği Kabuğu: Karakterizasyon ve Kinetik İnceleme

Erbil KAVCI¹, Bünyamin DÖNMEZ², Ali ÇİÇEKÇİ¹ ve Ömer LAÇIN²

How to cite: Kavcı, E., Dönmez, B., Çiçekçi, A., & Laçın, Ö. (2021). Malahit yeşilinin gideriminde şeftali çekirdeği kabuğu: Karakterizasyon ve kinetik inceleme. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 9-20. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.761068>

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Bünyamin DÖNMEZ
bdonmez@atauni.edu.tr

Yazarlara ait ORCID

E.K.: 0000-0001-6519-9901
B.D.: 0000-0002-7680-0755
A.Ç.: 0000-0001-7890-602X
Ö.L.: 0000-0002-5276-3056

Received: 01.07.2020

Accepted: 18.12.2020

Öz

Bu çalışmada, adsorbent olarak kullanılan şeftali çekirdeği kabuğu üzerine sulu ortamdaki malahit yeşilinin adsorpsiyonu amaçlanmıştır. Bunun için önce adsorbentin karakterizasyonu incelenmiş ve sonrasında adsorpsiyon prosesini etkileyen parametrelerden faydalanarak uygun bir kinetik model elde edilmiştir. Karakterizasyon çalışmalarında; Taramalı Elektron mikroskobu, Termal Gravimetri/Diferansiyel Taramalı Kalorimetri, Diferansiyel Termal Gravimetri, X-Işını Kırınımı ve Yüzey analizleri yapılmıştır. Termal Gravimetri/Diferansiyel Taramalı Kalorimetri analizleri ile, şeftali çekirdeğinin 25-150°C, 200-380°C ve 380-580°C sıcaklık aralıklarında bozunduğu gözlenmiştir. X-Işını Kırınımı analizleri sonucu ise, adsorbent yapısının amorf bir karaktere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, yüzey analizleri ile, adsorbentin yüzey alanı, por hacmi ve ortalama por çapı değerleri belirlenmiştir. Adsorpsiyon prosesinin kinetiğinin belirlenmesi için, yaygın olarak kullanılan modeller incelenmiş ve kinetik modelin yalnızca ikinci mertebeye uyduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, endüstriyel anlamda sulu çözeltilerden malahit yeşilinin uzaklaştırılması hususunda şeftali çekirdeği kabuğunun oldukça katkı sağlayacağı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Şeftali çekirdeği kabuğu, malahit yeşili, adsorpsiyon, karakterizasyon, kinetik model

Peach Core Shell for Removal of Malachite Green: Characterization and Kinetics Analysis

¹Kafkas Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kars, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Bu çalışma Creative Commons Attribution 4.0 International License ile lisanslanmıştır

Abstract

In this research, adsorption of malachite green in aqueous medium on peach seed shell used as adsorbent was aimed. For this purpose, first the characterization of adsorbent was examined and then a proper kinetic model was obtained by using the parameters affecting the adsorption process. In characterization studies; Scanning Electron Microscope, Thermal Gravimetry/Differential Scanning Calorimetry, Differential Thermal Gravimetry, X-Ray Diffraction and Surface analysis were done. With Thermal Gravimetry/Differential Scanning Calorimetry analysis, it was observed that the peach kernel degraded at temperatures between 25-150°C, 200-380°C and 380-580°C. As a result of X-Ray Diffraction analysis, it was revealed that the adsorbent structure has an amorphous character. In addition, by surface analysis, surface area, pore volume and average pore diameter values of the adsorbent were determined. In order to determine the kinetics of the adsorption process, commonly used

models were examined and it was found that the kinetic model fit the pseudo-second order. In the light of the results obtained, it can be said that the peach seed shell will contribute greatly to the removal of malachite green from aqueous solutions industrially.

Keywords: Peach kernel peel, malachite green, adsorption, characterization, kinetics model

Giriş

Tekstil, kağıt, deri, kozmetik, ilaç, gıda gibi birçok sektörde renklendirici olarak kullanılmakta olan boyar maddeler, kullanım sonrası bu sektörlerin atık sularında gözlenmektedir [1]. Bu kimyasallar, hem çevreye zarar vermekte hem de güneş ışığında parçalanamadıkları için bitkilerin fotosentezini de engelleyebilmektedirler. Ayrıca, kimyasal yapıları gereği, insan sağlığı için zararlı olup kanserojen özellik de taşımaktadırlar [2, 3]. Canlılar için oldukça tehlikeli ve atık sulardan giderilmesi oldukça zor olan boyar maddelerden birisi de malahit yeşili atığıdır.

Boyar madde giderimi; kimyasal, biyolojik ve fiziksel olmak üzere üç ayrı yöntemle yapılmaktadır. Kimyasal olarak koagülasyon ve flotasyon, biyolojik anlamda biyoparçalama ve fiziksel olarak da çöktürme, iyon değişimi, membran filtrasyonu, ışınlama, ozonlama ve adsorpsiyon yöntemleri kullanılmaktadır [4-6]. Daha fazla kullanıma sahip olan fiziksel yöntemler içerisinde en çok tercih edileni adsorpsiyondur. Adsorbentin ucuzluğu, prosesin kolay uygulanabilmesi ve boyar madde tutma kapasitesinin yüksek olması, bu yöntemin en önemli avantajlarıdır [7, 8].

Adsorpsiyon işlemi, zaman esaslı bir prostedir. Adsorpsiyon sistemlerinin tasarımı, adsorpsiyon mekanizmasına ve kinetiğine bağlıdır. Kinetik modeller, adsorpsiyon süresini

ve mekanizmasını belirleyen eşitliklere göre ortaya konulmuş denklemlerdir. Adsorpsiyon mekanizması ve süresi, adsorbentin fiziksel ve kimyasal özellikleri yanı sıra, sıcaklık, pH ve karıştırma hızı gibi parametrelere de bağlıdır.

Adsorpsiyon proseslerinde kullanılan adsorbentlerden biri de şeftali çekirdeği kabuğudur. Latince ismi *Prunus persica* olan şeftali meyvesinin üretimi konusunda, ülkemizin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (Tablo 1). Şeftali çekirdeği bileşiminin kütlece %6 civarında olması, ortalama yıllık 40.000 ton çekirdek miktarı demektir. Sonuç olarak, şeftali meyvesinin bir atığı olan ham şeftali çekirdeğinin iyi bir potansiyele sahip ve ekonomik olması, onun uygun bir adsorbent olarak kullanılabilceği anlamına gelmektedir.

Tablo 1. Türkiye şeftali üretimi ve miktarı [9]

İl	Üretim miktarı (ton)
Mersin	103.595
Çanakkale	91.558
Bursa	77.941
İzmir	74.311
Antalya	17.154
Sakarya	16.076
Adana	14.823

Bu araştırmada, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Termal Gravimetri/Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (TG-DSC), Diferansiyel Termal Gravimetri (DTG), X-Işını Kırınımı (XRD) ve Micrometrics 3Flex cihazı ile yüzey

analizleri sonucu şeftali çekirdeği kabuğunun karakterizasyonu incelenmiştir. Ayrıca, sulu ortamda malahit yeşilinin şeftali çekirdeği kabuğu üzerine adsorpsiyon kinetiği de incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Adsorbent

Antalya-Korkuteli'nden temin edilen ham şeftali çekirdeği kabuğu, temizlenip kurutulduktan sonra 250 µm'ye öğütülmüştür. Bir şeftali çekirdeği kabuğunun yaklaşık elementel analizi Tablo 2' de verilmiştir [10]

Tablo 2. Şeftali çekirdeğinin elementel analizi

Bileşen	Bileşimi (% , w/w)
C	50.50
H	5.68
N	0.07
O	43.75

Micrometrics 3Flex cihazı ile adsorbentin bazı yüzey özellikleri analiz edilmiş ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Adsorbentin bazı yüzey özellikleri

Yüzey Alanı (S, m ² .g ⁻¹)	Por hacmi (Vp, cm ³ .g ⁻¹)	Ortalama Por Çapı (dp, nm)
17.36	0.016	3.37

TG-DTG/DSC, XRD ve SEM Analizleri

Adsorbente ait termal analizler NETZSCH STA 409 PC Luxx marka cihaz ile yapılmıştır. Cihazın denge ve sıcaklık kontrol sistemi, 0.001 mg ağırlık kaybını ve 0.1 K sıcaklık değişimini hassas olarak ölçebilmektedir. Standart referans madde olarak kalsine edilmiş α-Al₂O₃ tozu kullanılmıştır. Katı numuneler (yaklaşık 20 mg)

bir pan içerisine yerleştirilmiş ve 10°C/dk'lık ısıtma hızında hava atmosferinde 1000°C'ye kadar ısıtılmıştır.

Bozundurma analizleri, eş zamanlı TG/DSC ve DTG cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu eğrilerinden, şeftali çekirdeğinin kütle kayıpları ve karakteristik sıcaklık değerleri (reaksiyon başlama sıcaklığı, maksimum pik sıcaklığı, reaksiyon sonu sıcaklığı) elde edilmiştir. TG/DSC analizleri ile, yüksek sıcaklık altında, ham şeftali çekirdeği ve malahit yeşili adsorplanmış şeftali çekirdeği kabuğunun bozunma eğrileri elde edilmiştir.

XRD analizinde, Panalytical Empryrean cihazı kullanılmıştır. Cihaz, 2θ = 0-90° aralığında Cu Kα (λ = 1.5405 Å) radyasyonu şartlarında ölçüm yapmaktadır. SEM analizleri ise, A ZEISS SIGMA 300 analiz cihazında yapılmıştır.

Adsorbat

Merck firmasından temin edilen malahit yeşili, C₂₃H₂₅N₂Cl kimyasal formülüne sahiptir (mol kütlesi = 364.92 g.mol⁻¹, C.I. Sınıflandırma Numarası 42.000, CAS 569-64-2, λ_{max} = 617 nm). Malahit yeşili, çoğu ülkede kullanımı yasaklanmasına rağmen, ucuzluğu ve kolay bulunabilmesinden dolayı özellikle yün, ipek, deri veya pamuğun boyanmasında ayrıca kağıt üretimi, gıda teknolojisi ve zirai ilaç endüstrisinde antiseptik olarak da kullanılmaktadır [11, 12].

Adsorpsiyon denemelerinde, öncelikle 1000 ppm'lik malahit yeşili stok çözeltisi hazırlanmış ve tüm deneylerde bu stok çözeltisi

kullanılmıştır. Adsorpsiyon denemeleri, 250 mL'lik şilifli erlenler içerisinde, hava banyolu çalkalayıcı ortamda (Edmund Bühler GmbH KS-15) kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme için, 50-100-150-200 ve 250 ppm malahit yeşili içeren çözeltilerden 50 mL alınmış ve 1 gram adsorbent ilave edilerek denge süresine kadar (120 dk) denemeler sürdürülmüştür. Deneylede çözelti ortamı sıcaklığı 25°C, çalkalama hızı 225 rpm ve serbest pH değeri 5.2 olarak sabit tutulmuştur. Her bir deney sonunda ortamdan çekilen 5 mL'lik numune (Nuve NF 1215 modele sahip bir cihazda) hızlıca santrifüjlenmiştir. Her bir çözeltideki boyar madde konsantrasyonu, 617 nm de Mapada V-1100 model spektrofotometre ile tayin edilmiş ve herhangi bir andaki adsorpsiyon kapasitesi eşitlik 1' den hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Denklemdaki C_0 ve C_e sırasıyla, başlangıç ve denge anındaki malahit yeşili konsantrasyonlarını (mg.L^{-1}), V çözelti hacmini (L), m adsorbent miktarını (g) ve q_e ise denge anındaki adsorpsiyon miktarını (mg.g^{-1}) ifade etmektedir.

Kinetik İnceleme

En iyi adsorpsiyon şartlarını belirleyebilmek için adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi gerekir. Adsorpsiyon hızı, adsorpsiyon proseslerinin modellenmesinde oldukça önemli olup çözelti arayüzeyinde adsorbe edilen maddenin kalma süresi ile nasıl kontrol edilebileceğini göstermektedir. Deneysel çalışmalarda, sulu çözeltilere ait adsorpsiyon

prosesleri için, literatüre göre kullanılan en yaygın kinetik modeller (yalancı birinci mertebe, yalancı ikinci mertebe, partikül içi difüzyon ve Elovich modelleri) denenmiştir [13].

Yalancı Birinci Mertebe Kinetik Model

Yalancı birinci mertebe kinetik modeli aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [14]:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (2)$$

Burada, q_t (mg.g^{-1}) herhangi bir t anında adsorplanmış madde miktarı ve k_1 (dk^{-1}) adsorpsiyon hız sabitidir. k_1 ve q_e nicelikleri, t' ye karşı $\log (q_e - q_t)$ grafiğinden hesaplanmaktadır.

Yalancı İkinci Mertebe Kinetik Model

Bu kinetik model, denklem (3) ile formülize edilmektedir [15]:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Bu modelde, k_2 ($\text{g.mg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) adsorpsiyon hız sabitini ve q_t (mg.g^{-1}) ise herhangi bir t anında adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. t değerlerine karşılık t/q_t grafiğinden, q_e ve k_2 parametreleri hesaplanmaktadır.

Partikül İçi Difüzyon Modeli

Partikül içi difüzyon modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [16].

$$q_t = K_i \sqrt{t} + C \quad (4)$$

Denklemden; K_i ($\text{mg.g}^{-1}.\text{dk}^{-1/2}$), partikül içi difüzyon hız sabiti ve C (mg/g), adsorbent ile adsorbat arasındaki tabaka kalınlığına ait bir

sabittir. K_i ve C değerleri, $q_t\sqrt{t}$ eğrisinden hesaplanmaktadır.

Elovich Kinetik Modeli

Bu kinetik modeli ifade eden denklem aşağıda verilmiştir [17]:

$$q_t = \frac{\ln(\alpha\beta)}{\beta} + \frac{\ln t}{\beta} \quad (5)$$

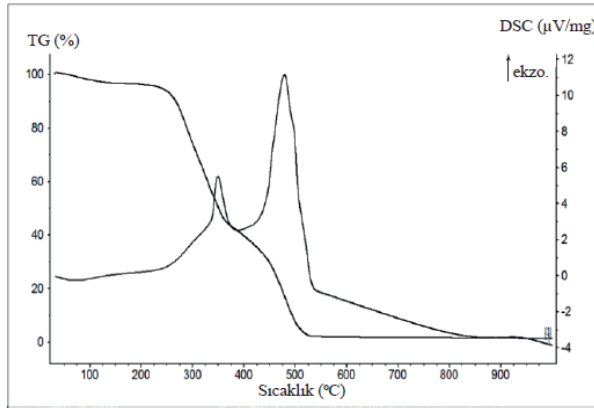
Bu eşitlikte; α ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dk}^{-1}$), başlangıç sorpsiyon hızını ve β ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$) ise, sorpsiyon için gerekli yüzey aktivasyon enerjisini temsil etmektedir.

q_t 'ye karşı $\ln(t)$ eğrisinden, α ve β sabitleri hesaplanmıştır.

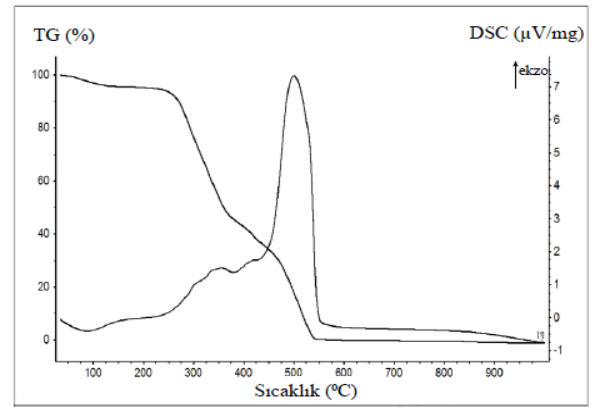
Bulgular ve Tartışma

TG/DSC Analizleri

Şeftali çekirdeğinin adsorpsiyon öncesi ve sonrası TG/DSC grafikleri Şekil 1' de ve DTG grafiği ise Şekil 2'de verilmiştir.

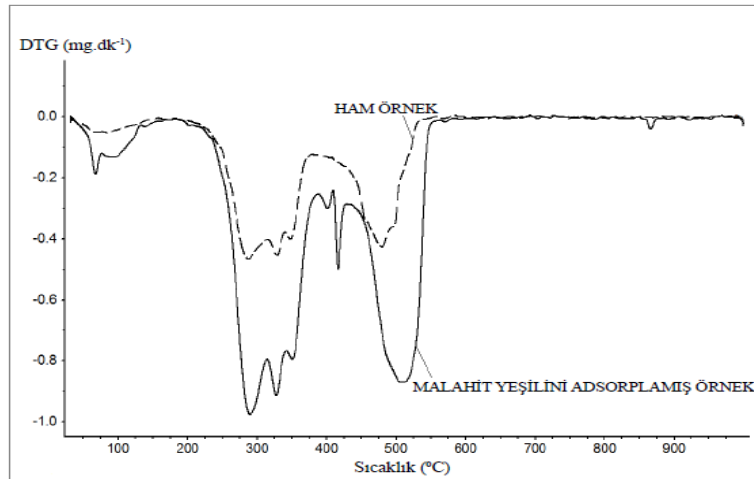


a) Adsorpsiyon öncesi



b) Adsorpsiyon sonrası

Şekil 1. Şeftali çekirdeğinin TG-DSC grafikleri



Şekil 2. Şeftali çekirdeğinin DTG grafiği

TG/DSC analizinden, şeftali çekirdeğinin bozunması, yaklaşık 25-150°C, 200-380°C ve 380-580°C sıcaklıkları olmak üzere üç

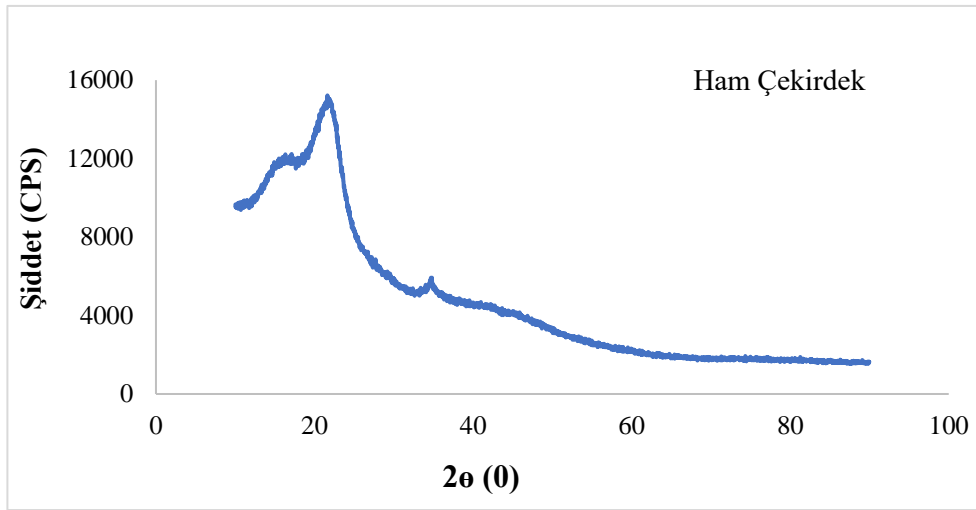
basamakta gerçekleşmektedir. Nemin uzaklaştığı 25-150°C aralığında, adsorpsiyon öncesi ve sonrasında, şeftali çekirdeğinin

ağırlık kaybı %6 civarında olmaktadır. Yine bu grafikten, adsorpsiyon öncesi ve sonrasında (200-380°C aralığında) yaklaşık %48'lik bir kütle kaybı olduğu görülmüş, DSC eğrisinde, özellikle adsorpsiyon öncesinde, belirgin bir ekzotermik pikin olduğu gözlenmiştir. 380-580°C aralığında ise lignin, daha geniş bir sıcaklık aralığında bozunmaktadır. TG/DSC verilerine göre, lignindeki bozunmanın genellikle bu bölgeye karşılık geldiği görülmektedir. Maksimum bozunma sıcaklığı yaklaşık olarak 490°C olup, bu ayrışmaya karşılık gelen kütle kaybı ise %44 civarındadır. Yani, DSC eğrisinde bu bölgeye ait ekzotermik bir pik oluşmaktadır.

DTG grafiğinde, adsorpsiyon sonrası (yaklaşık 230-390°C bölgesi), hemiselüloz, selüloz ve ligninin ayrışma sıcaklığını desteklemektedir. Ayrıca aynı egrideki 410-430°C aralığı da, adsorplanmış malahit yeşilinin parçalanma sıcaklığını temsil edebilir.

XRD Analizleri

Ham şeftali çekirdeğinin XRD grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 2θ 'nin özellikle 22° ve kısmen 33° değerlerine ait karakteristik piklere karşılık geldiği ve lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi yapıların varlığından dolayı şeftali çekirdeğinin amorf bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

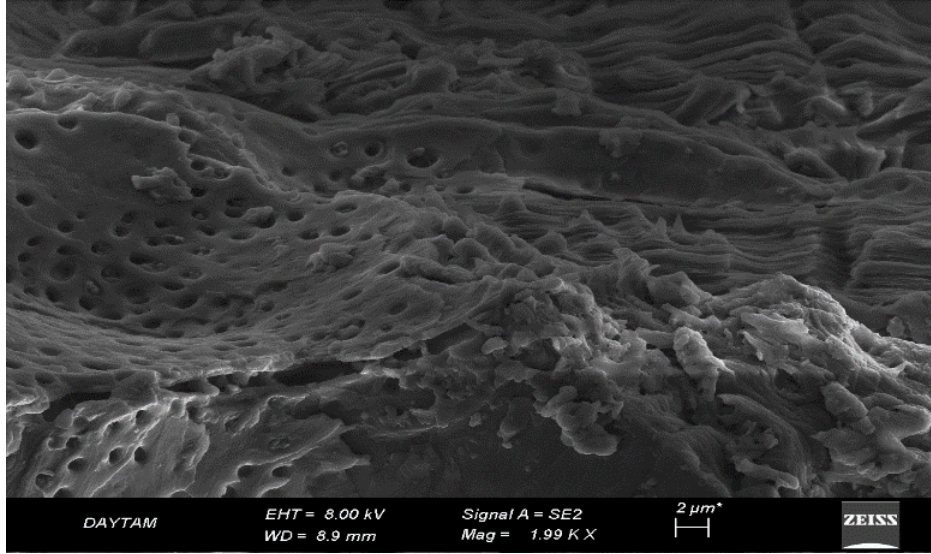


Şekil 3. Ham şeftali çekirdeğinin XRD grafiği

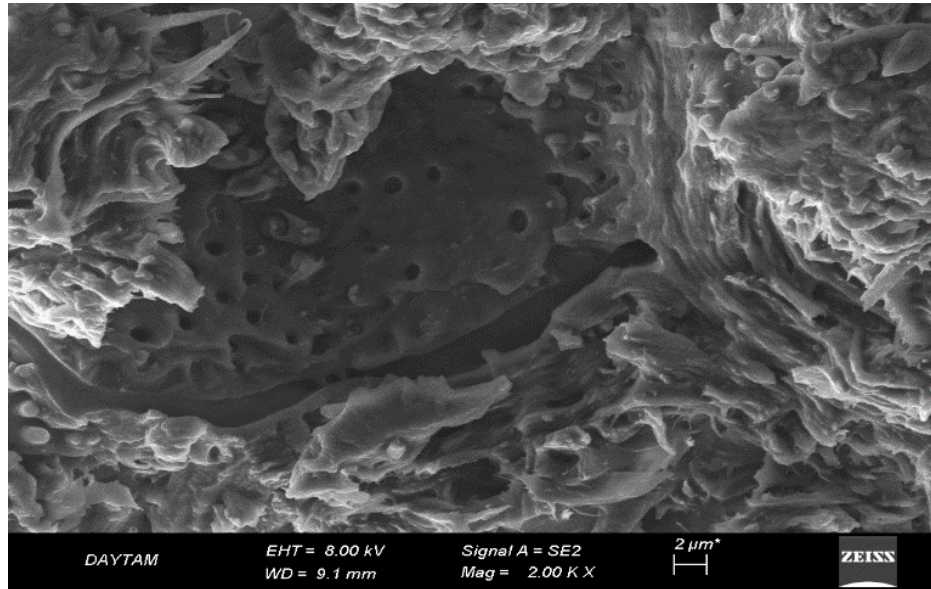
SEM Analizleri

Şeftali çekirdeği kabuğunun adsorpsiyon öncesi ve sonrasına ait SEM görüntüleri Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Adsorpsiyon öncesinde, heterojen bir karakterde olan yüzeyin kısmen küresel gözeneklere, kısmen de silindirik ve

kompakt oluşumlara sahip olduğu belirtilebilir. Adsorpsiyon sonrasında ise, gözeneklerin tamamen absorbat ile işgal edildiği ve dolayısıyla heterojenliğin kısmen kaybolarak homojen bir yüzey özelliğine doğru değişim gösterdiği ifade edilebilir.



Şekil 4. Adsorpsiyon öncesi SEM görüntüsü

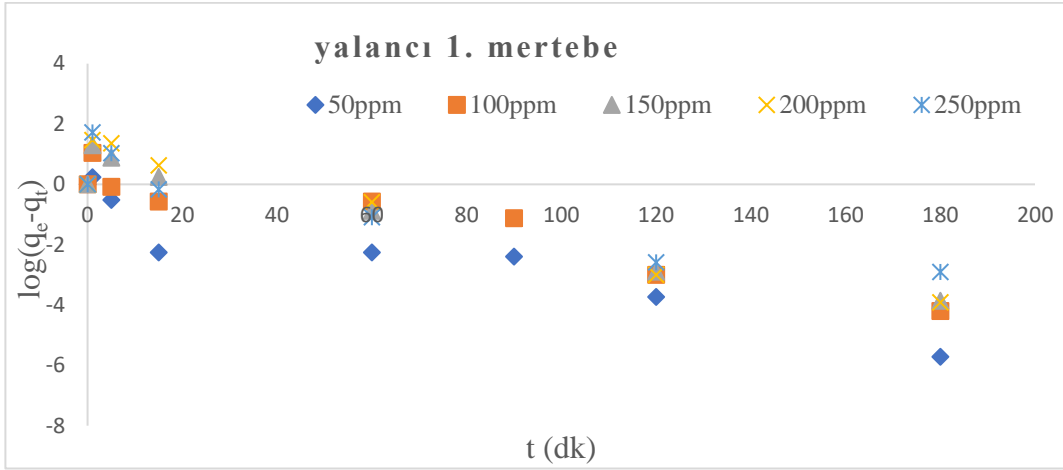


Şekil 5. Adsorpsiyon sonrası SEM görüntüsü

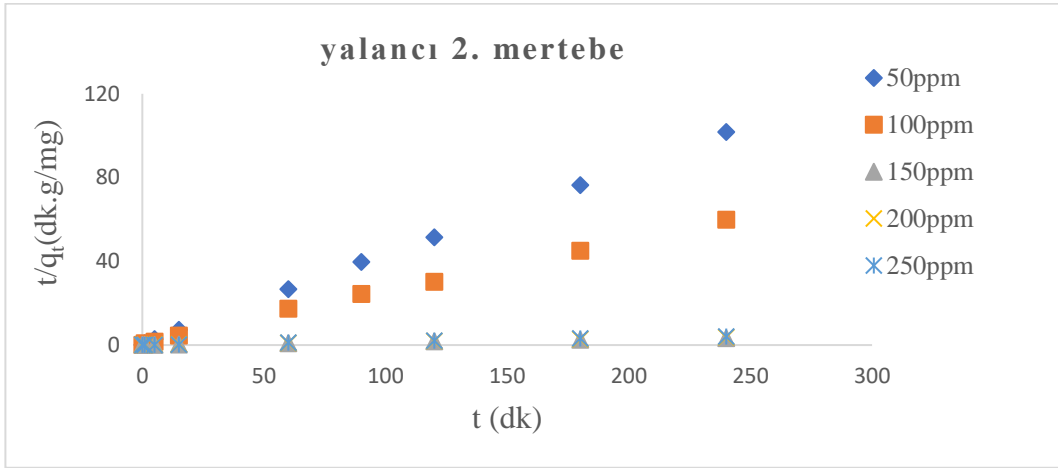
Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon prosesine ait kinetik çalışmalarında, yalancı birinci mertebe, yalancı ikinci mertebe, partikül içi difüzyon ve Elovich modelleri uygulanmıştır. Şekil 6-9, bu modellere ait grafikleri temsil etmektedir. Modellere ait parametre değerleri ve korelasyon katsayıları ise Tablo 4’te verilmiştir. Bu tabloya

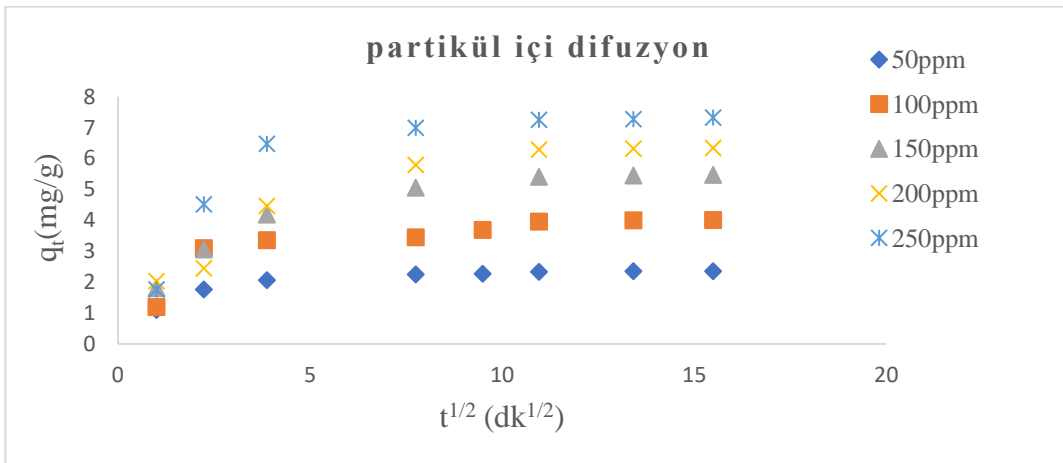
göre, korelasyon katsayılarına ait en uygun modelin yalancı ikinci mertebe model olduğu gözlenmiştir. Sulu çözeltilerden malahit yeşilinin giderilmesi üzerine yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar gözlenmiştir [18-20]. Ayrıca, bu modele ait adsorpsiyon kapasitesinin, deneysel ve hesaplanmış değerlerinin de birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir.



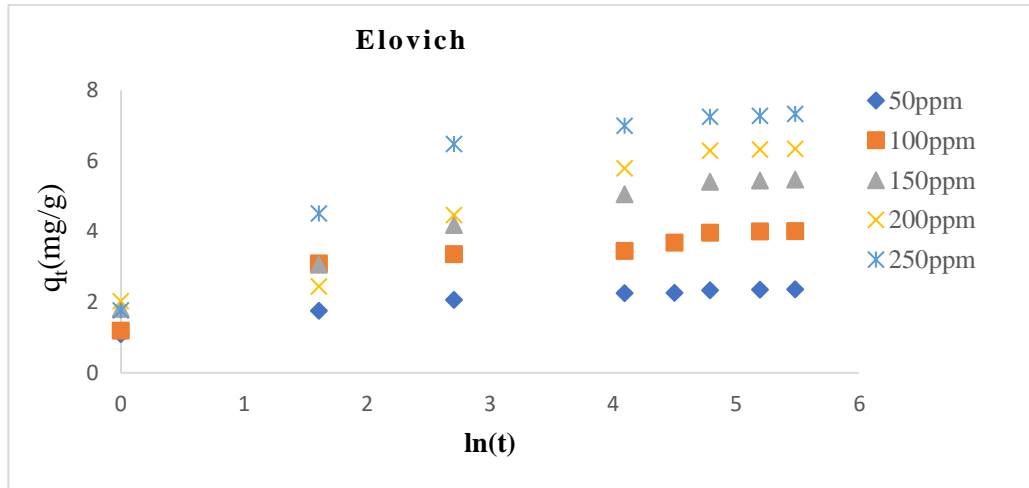
Şekil 6. Yalancı-birinci merteye kinetik modeli



Şekil 7. Yalancı-ikinci merteye kinetik modeli



Şekil 8. Partikül içi difüzyon modeli



Şekil 9. Elovich kinetik modeli

Tablo 4. Kinetik modellere ait parametre değerleri ve korelasyon katsayıları

Kinetik model	Parametre	Konsantrasyon (ppm)				
		50	100	150	200	250
Yalancı I. mertebe	k_1	0.071	0.056	0.061	0,066	0.052
	q_e	0.180	2.360	5.190	9.700	4.600
	R^2	0.860	0.900	0.940	0.920	0.850
Yalancı II. mertebe	k_2	0.240	0.070	0.060	0.040	0.060
	q_e	2.370	4.045	5.534	6.439	7.384
	R^2	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999
Partikül içi difüzyon	k_i	0.068	0.130	0.220	0.300	0.290
	C	1.515	2.2287	2.603	2.455	3.662
	R^2	0.675	0.626	0.789	0.828	0.627
Elovich Modeli	α	79.350	24.400	12.530	6.540	15.340
	β	4.600	2.260	1.450	1.110	1.040
	R^2	0.910	0.840	0.970	0.950	0.880

Tablo 5. Yalancı II. mertebe modele ait hesaplanan ve deneysel q_e değerleri

Deneyisel sabitler	k_2	q_e (hesaplanan)	R^2	q_e (deneysel)
50 ppm	0.240	2.370	0.999	2.359
100 ppm	0.070	4.045	0.998	4.015
150 ppm	0.060	5.534	0.999	5.469
200 ppm	0.040	6.439	0.999	6.342
250 ppm	0.060	7.384	0.999	7.328

Sonuçlar

Yapısında lignin, selüloz ve hemiselüloz içeren şeftali çekirdeği kabuğunun karakterizasyonu ve sulu ortamda malahit yeşilinin giderimine ait bir kinetik çalışması yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları için SEM, XRD, TG/DSC, DTG ve yüzey analizleri yapılmıştır.

SEM görüntülerinden, küresel gözenekli adsorbentin, silindirik ve kompakt oluşumlarla beraber heterojen bir yapıda olduğu ve XRD analizi sonucuna göre ise, yapının amorf bir karakterde olduğu görülmüştür.

TG/DSC analizlerinden, şeftali çekirdeğinin 25-150°C, 200-380°C ve 380-580°C sıcaklık aralıklarında bozunduğu gözlenmiştir. DTG grafiğinde, adsorpsiyon sonrası yaklaşık 230-390°C bölgesi, hemiselülöz, selülöz ve ligninin ayrışma sıcaklığını desteklemiştir.

Şeftali çekirdeği kabuğuna ait yüzey analizlerinden, katının, 17.36 m².g⁻¹'lık bir yüzey alanına, 0.016 cm³.g⁻¹'lık bir por hacmine ve 3.37 nm'lik ortalama bir por çapına sahip olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kupeta, A. J. K., Naidoo, E. B., & Ofomaja, A. E. (2018). Kinetics and equilibrium study of 2-nitrophenol adsorption onto polyurethane cross-linked pine cone biomass. *Journal of Cleaner Production*, 179, 191–209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.034>
- [2] Sartape, A. S., Mandhare, A. M., Jadhav, V. V., Raut, P. D., Anuse, M. A., & Kolekar, S. S. (2017). Removal of malachite green dye from aqueous solution with adsorption technique using Limonia acidissima (wood apple) shell as low cost adsorbent. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3229–S3238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.019>
- [3] Mohamed, A., Ghobara, M. M., Abdelmaksoud, M. K., & Mohamed, G. G. (2019). A novel and highly efficient photocatalytic degradation of malachite green dye via surface modified polyacrylonitrile nanofibers/biogenic silica composite nanofibers. *Separation and Purification Technology*, 210, 935–42. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.014>

Adsorpsiyon prosesine ait kinetik incelemeler sonucunda, prosesin en yüksek korelasyon katsayısına ($R^2 > 0.99$) sahip olan ikinci mertebeden kinetik modele uyduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonunda, kullanılan çekirdek kabuğunun, malahit yeşili veya benzer tehlikeli atıkların uzaklaştırılması için belli bir potansiyele sahip uygun bir adsorbent olabileceği öngörülmüştür.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri Yazarlar bu çalışmanın araştırması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir mali destek almamışlardır.

Etik Kurul Onayı ve İzinler -

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazarların Katkısı Tüm yazarlar, bu çalışmanın planlanmasına, yürütülmesine veya analizine yazar olarak dahil edilmek üzere yeterince katkıda bulunmuştur. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

- [4] Lacin, O., Haghghatnia, A., Demir, F., Sevim, F., & Laçın, O. (2019). Adsorption characteristics and behaviors of natural red clay for removal of BY28 from aqueous solutions. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(2), 1037-1047. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd21544>
- [5] Mashkoo, F., & Nasar, A. (2019). Preparation, characterization and adsorption studies of the chemically modified *Luffa aegyptica* peel as a potential adsorbent for the removal of malachite green from aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, 274, 315–327. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.119>
- [6] Othman, N. H., Alias, N. H., Shahrudin, M. Z., Bakar, N. F. A., Him, N. R. N., & Lau, W. J. (2018). Adsorption kinetics of methylene blue dyes onto magnetic graphene oxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2803-2811. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.024>
- [7] Ahmad, M. A., & Alrozi, R. (2011). Removal of malachite green dye from aqueous solution using rambutan peel-based activated carbon: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, 71, 510–516. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.04.018>
- [8] Subbaiah, M. V., & Kim, D. S. (2016). Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 128, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.02.016>
- [9] Türkiye İstatistik Kurumu, Faaliyet raporu, 2011. <https://www.tuik.gov.tr/jsp/duyuru/upload/FR-2011.pdf>
- [10] Çiçekçi, A., Dönmez, B., Kavcı, E., & Laçın, Ö. (2020). Malahit yeşilinin şeftali çekirdeği kabuğu üzerine adsorpsiyon izotermi ve termodinamiği. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 103-111. <https://doi.org/10.33484/sinopfb.70105>
- [11] Tang, S. H., & Zaini, M. A. A. (2017). Malachite green adsorption by potassium salts activated carbons derived from textile sludge: equilibrium, kinetics and thermodynamics studies. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 12(1), 159-172. <https://doi.org/10.1002/apj.2063>
- [12] Papinutti, L., Mouso, N., & Forchiassin, F. (2006). Removal and degradation of the fungicide dye malachite green from aqueous solution using the system wheat bran–*fomes sclerodermeus*. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 848-853. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.01.013>
- [13] Crini, G., & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies, a review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, 33, 399-447. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.11.001>
- [14] Lagergren, S. K. (1898). About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *Sven Vetenskapsakad Handlingar*, 24, 1–39.
- [15] Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34, 451–465.
- [16] Weber, W. J., & Morris, J. C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89, 31–60.
- [17] Maneerung, T., Liew, J., Dai, Y., Kawi, S., Chong, C., & Wang, C. H. (2016). Activated carbon derived from carbon residue from biomass gasification and its application for dye adsorption: Kinetics, isotherms and thermodynamic studies. *Bioresource Technology*, 200, 350–359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.047>

- [18] Al-Qodah, Z. (2000). Adsorption of dyes using shale oil ash. *Water Research*, 34(17), 4295-4303.
- [19] Lunhong, A., Haiyan, H., Zhonglan, C., Xing, W., & Jiang, J. (2010). Activated carbon/CoFe₂O₄ composites: facile synthesis, magnetic performance and their potential application for the removal of malachite green from water. *Chemical Engineering Journal*, 156, 243-249. <https://doi:10.1016/j.cej.2009.08.028>
- [20] Azmier, A. M., & Rasyidah, A. (2011). Removal of malachite green dye from aqueous solution using rambutan peel-based activated carbon: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, 171, 510-516. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.04.018>



Beklenen Aralığa Dayanan Aralık Tip II Üssel Bulanık Sayının Aralık Tip II Parametrik Yamuk Bulanık Sayı Yakınsaması

Sinem PEKER¹ ve Efendi NASİBOV²

How to cite: Peker, S., & Nasibov, E. (2021). Beklenen aralığa dayanan aralık Tip II üssel bulanık sayının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsaması. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 21-32. <https://doi.org/10.33484/sinopfdb.817174>

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Sinem PEKER
sinem.peker@yasar.edu.tr

Yazarlara ait ORCID

S.P.: 0000-0003-4700-7595
E.N.: 0000-0002-1889-6410

Received: 27.10.2020

Accepted: 07.02.2021

Öz

Tip I bulanık sayıları belirsizliği ele almak için bazı karar verme problemlerinde kullanılmaktadır. Tip I bulanık sayılarının üyelik dereceleri adi sayılardır. Ancak gerçek yaşam problemlerinde, üyelik derecelerinin bulanık sayılar ile gösterilebileceği olaylar var olabilir. Bu gibi durumlarda, Tip II bulanık sayıları kullanılabilir. Bulanık sayının daha basit bir formunun kullanılması bazı çalışmalarda karmaşık hesaplamalardan kaçınmak için bir avantaj olarak görülmektedir. Bu durum dikkate alınarak, bu çalışmada aralık Tip II üssel bulanık sayının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsaması, beklenen aralıkların eşitliklerinin kullanıldığı bir kısıtlı optimizasyon problemi ile bulunmuş ve formüller verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tip II bulanık sayı, üssel bulanık sayı, parametrik yamuk bulanık sayı, yakınsama, optimizasyon

Interval Type II Parametric Trapezoidal Fuzzy Number Approximation of Interval Type II Exponential Fuzzy Number Based on The Expected Interval

¹Yaşar Üniversitesi, Fen Edebiyat
Fakültesi, Matematik Bölümü,
İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen
Fakültesi, Bilgisayar Bilimleri
Bölümü, İzmir, Türkiye

Bu çalışma Creative Commons
Attribution 4.0 International License
ile lisanslanmıştır

Abstract

Type I fuzzy numbers are used in some decision-making problems to handle the uncertainty. The membership degrees of Type I fuzzy numbers are crisp numbers. However, the events in which the membership degrees may be shown by fuzzy numbers may exist in the real life problems. In that cases, the Type II fuzzy numbers can be used. The usage of the simpler form of the fuzzy number is seen as an advantage for the avoiding of complex calculations in some studies. Considering this, the interval Type II parametric trapezoidal fuzzy number approximation of the interval Type II exponential fuzzy number has been found by a constrained optimization problem in which the equalities between expected intervals are used and the formulas have been given in this study.

Keywords: Type II fuzzy number, exponential fuzzy number, parametric trapezoidal fuzzy number, approximation, optimization

Giriş

Gerek belirsiz bilginin gerekse tamamlanmamış bilginin söz konusu olduğu durumlarda bulanık sayı kullanımına başvurulabilir [1].

Bulanıklığın işlendiği çalışmalarda ise yamuk, üçgen bulanık sayılar sıklıkla kullanılan bulanık sayılar arasındadır. Yamuk bulanık sayı ise parametrik bulanık sayısının özel bir halidir ve

bulanık sayının sol ve sağ taraf fonksiyonlarının şeklinde bir esneklik sağlar [2].

Literatürde bulanık kümenin yanı sıra bulanık kümenin bir genişlemesi olan sezgisel bulanık kümelerin (intuitionistic fuzzy set) kullanıldığı çalışmalar karar verme problemlerinde ve diğer alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Sezgisel bulanık kümeler, üyelik fonksiyonu (membership function) ve üyelik dışı fonksiyonu (non-membership functions) içerir [3, 4]. Sezgisel bulanık küme, zamanın dikkate alındığı zamansal sezgisel bulanık kümenin (temporal intuitionistic fuzzy set) bir alt kümesi olarak düşünülebilir [5]. Netrosofik değerler (neutrosophic values), belirsizlik ölçüsünün bağımsız derecesini belirlemede etkin rol oynayabilir [6].

Gerçek yaşam problemlerinde karışık bulanık sayılar karşımıza çıkabilir ve bunların tek bir adi (crisp) sayıya dönüşümü yapılmak istenebilir, ancak bu durum fazla bilgi kaybına neden olabilir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için bulanık sayının daha basit şeklindeki haline sahip olan bir bulanık sayıya yakınsaması yapılmak istenebilir [7]. Bunun yanı sıra, bir bulanık sayının belli bir bulanık sayıya yakınsamasının yapılması, çalışmalarda işlem kolaylıkları sağlayabilir [8]. Literatürde bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [9-14]. Örneğin Ban [15] yaptığı çalışmada verilen Tip I bulanık sayının yamuk bulanık sayısı yakınsamasını oluşturmuştur. Yaptığı çalışmada iki bulanık sayı arasındaki Öklid uzaklığını kullanmış ve iki bulanık sayının beklenen değerlerini birbirine eşit kılan kısıtlı

optimizasyon problemi yardımıyla verilen bulanık sayının yakınsaması olan yamuk bulanık sayının parametrelerini elde etmiştir. Ban ve Coroianu [16] bulanık sayıya ait parametreleri dikkate alarak bulanık sayının üçgen bulanık sayı yakınsamasını elde etmişlerdir. Ban ve ark. [1] bulanık sayının ağırlıklı L-R (left-right) yakınsamasını veren bir yöntem sunmuşlardır. Yöntemde Hilbert uzayı ve ortalama Öklid uzaklığı kullanmışlardır. Grzegorzewski ve Winiarska [17] bulanık sayının çekirdek (core) ve taşıyıcısı (support) için ek gereklilikleri sağlayan yeni operatörler ile beklenen aralığın korunduğu yamuk bulanık sayı yaklaşımı oluşturmuşlardır. Wang ve Li [18] basit üyelik fonksiyonları kullanarak bulanık sayının yakınsamasını veren yöntem sunmuşlar ve yaklaşım operatörlerinin özelliklerini incelemişlerdir. Zhou ve ark. [19] bir algoritma geliştirmişler ve bulanık kümelerin kısıtlı yakınsamalarını oluşturmuşlardır. Ban ve Coroianu [20] bulanık sayının en yakın aralık, üçgen ve yamuk yakınsamalarını oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada ortalama öklid uzaklığına (euclidean distance) ve belirsizliğe odaklanmışlardır [20]. Ban [15] öklid uzaklığını kullanarak, bulanık sayının beklenen aralığını koruyan yakınsama yöntemi ile ilgili çalışma yapmıştır. Nasibov ve Peker [2], bulanık bir sayının parametrik yamuk yakınsamasını öklid uzaklığının kullanıldığı bir yaklaşımla oluşturmuştur. Peker ve Nasibov [21], aralık Tip II genelleştirilmiş çan şekilli bulanık sayısının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsamasını sunmuşlardır.

Küme elemanlarının üyelik derecelerinin de bulanık olduğu durumlarda Tip II bulanık sayıları söz konusudur [22]. Klasik (ordinary) bulanık kümeler, Tip II bulanık kümelerin özel halidir ve klasik küme elemanlarının üyelik dereceleri adi (crisp) değerlidir. Belirsizliğin daha çok ele alınması gerektiği durumlarda Tip II bulanık sayı kullanımı daha yararlı olabilir [23]. Bu çalışmada küme elemanlarının üyelik derecelerinin de bulanık olduğu durum dikkate alınarak, iç ve dış fonksiyonlarda beklenen aralık değerlerinin korunduğu aralık Tip II üssel bulanık sayının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsaması oluşturulmuştur. Yakınsamada literatürde bu alanda sık olarak başvuru uzaklıklardan biri olan öklid uzaklığının bir genişlemesi kullanılarak bir kısıtlı optimizasyon problemi ile aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsamasına ait formüller verilmiştir. Aralık Tip II yamuk bulanık sayı yakınsaması, aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsamasının özel bir halidir. Oluşturulan yakınsama bazı karar verme problemlerinde karmaşık hesapların yer aldığı işlemlerde hem işlem kolaylığı sağlayabilir hem de üyelik dereceleri de bulanık olduğu için bulanıklığın dikkate alınması açısından bir yarar sunabilir.

Materyal ve Metot

Parametrik yamuk bulanık sayı aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir [2],

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq a_1 - \sigma \\ 1 - \left(\frac{a_1 - x}{\sigma}\right)^{s_L} & , \quad a_1 - \sigma \leq x \leq a_1 \\ 1 & , \quad a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 - \left(\frac{x - a_2}{\beta}\right)^{s_R} & , \quad a_2 \leq x \leq a_2 + \beta \\ 0 & , \quad x \geq a_2 + \beta \end{cases} \quad (1)$$

Burada

$$L_A(\alpha) = a_1 - (1 - \alpha)^{1/s_L} \sigma \quad (2)$$

$$R_A(\alpha) = a_2 + (1 - \alpha)^{1/s_R} \beta \quad (3)$$

şeklinde. Yamuk bulanık sayı parametrik yamuk sayının özel halidir ve yamuk bulanık sayıda $s_L = s_R = 1$ 'dir. (1)'deki üyelik fonksiyonu $a_1 = a_2$ durumunda parametrik üçgen bulanık sayıyı tanımlar.

A bulanık sayının beklenen değeri (4) yardımıyla bulunabilir [16].

$$BD(A) = \frac{1}{2} \left(\int_0^1 L_A(\alpha) d\alpha + \int_0^1 R_A(\alpha) d\alpha \right) \quad (4)$$

Buna göre parametrik yamuk bulanık sayının beklenen değeri (5)'te de verildiği gibidir.

$$BD(A_{yamuk}) = \left(\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{s_R}{1 + s_R} \beta - \frac{s_L}{1 + s_L} \sigma \right) \right) \quad (5)$$

Bulanık sayının beklenen aralığı ise

$$BA(A) = \left(\int_0^1 L_A(\alpha) d\alpha, \int_0^1 R_A(\alpha) d\alpha \right) \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir [17]. Parametrik yamuk bulanık sayının beklenen aralığı (7)'de tanımlandığı gibidir,

$$BA(A_{yamuk}) = \left(a_1 - \frac{s_L}{1 + s_L} \sigma, a_2 + \frac{s_R}{1 + s_R} \beta \right) \quad (7)$$

Gauss (üssel) bulanık sayının üyelik fonksiyonu

$$\mu_B(x) = \left\{ e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{b-x}{\delta} \right)^2} \right\}, \quad -\infty < x < \infty \quad (8)$$

olarak tanımlanabilir [24]. Burada $a = L_A(1)$ ve δ ise yayılma değeri ile ilgilidir.

Sağ ve sol tarafta farklı yayılma değerlerine sahip simetrik olmayan üssel bulanık sayısının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\mu_B(x) = \begin{cases} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{b-x}{\delta}\right)^2} & , \quad x \leq b \\ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{\theta}\right)^2} & , \quad x \geq b \end{cases} \quad (9)$$

Sol ve sağ taraf fonksiyonları ise sırasıyla

$$L_B(\alpha) = b - (-2\ln\alpha)^{\frac{1}{2}}\delta \quad (10)$$

$$R_B(\alpha) = b + (-2\ln\alpha)^{\frac{1}{2}}\theta \quad (11)$$

şeklindedir.

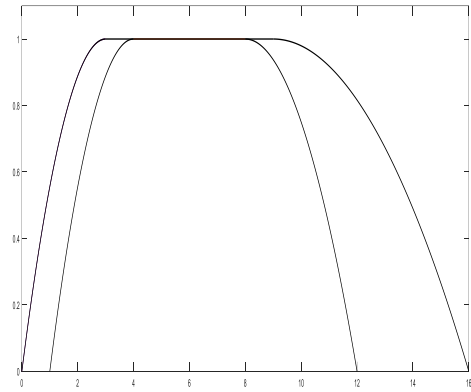
Tip II bulanık sayısında, x 'in üyelik değerleri de bulanıktır ve aralık Tip II bulanık sayısı iç (lower) ve dış (upper) üyelik fonksiyonları söz konudur [22]. Verilen x değeri için dış fonksiyondan elde edilen üyelik değeri iç fonksiyondan elde edilen üyelik değerinden daha düşük olmayacak şekildedir.

Aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayısı aşağıdaki iç (i indeksi) ve dış (d indeksi) üyelik fonksiyonları ile tanımlanabilir,

$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq a_{1_i} - \sigma_i \\ 1 - \left(\frac{a_{1_i} - x}{\sigma_i}\right)^{S_{L_i}} & , \quad a_{1_i} - \sigma_i \leq x \leq a_{1_i} \\ 1 & , \quad a_{1_i} \leq x \leq a_{2_i} \\ 1 - \left(\frac{x - a_{2_i}}{\beta_i}\right)^{S_{R_i}} & , \quad a_{2_i} \leq x \leq a_{2_i} + \beta_i \\ 0 & , \quad x \geq a_{2_i} + \beta_i \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{A_d}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq a_{1_d} - \sigma_d \\ 1 - \left(\frac{a_{1_d} - x}{\sigma_d}\right)^{S_{L_d}} & , \quad a_{1_d} - \sigma_d \leq x \leq a_{1_d} \\ 1 & , \quad a_{1_d} \leq x \leq a_{2_d} \\ 1 - \left(\frac{x - a_{2_d}}{\beta_d}\right)^{S_{R_d}} & , \quad a_{2_d} \leq x \leq a_{2_d} + \beta_d \\ 0 & , \quad x \geq a_{2_d} + \beta_d \end{cases} \quad (13)$$

Aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayısının görsel bir örneği Şekil 1'de verilmiştir.



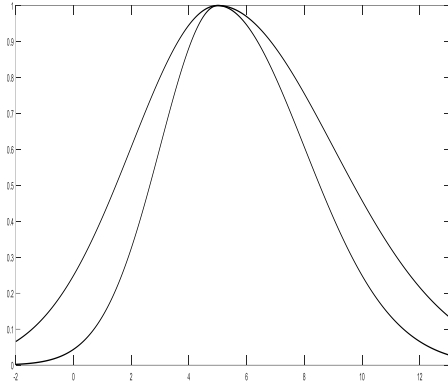
Şekil 1. Aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayısının bir örneği

Aralık Tip II üssel bulanık sayının iç ve dış üyelik fonksiyonları ise (14) ve (15)'de verildiği gibidir.

$$\mu_{B_i}(x) = \begin{cases} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{b-x}{\delta_i}\right)^2} & , \quad x \leq b \\ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{\theta_i}\right)^2} & , \quad x \geq b \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{B_d}(x) = \begin{cases} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{b-x}{\delta_d}\right)^2} & , \quad x \leq b \\ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{\theta_d}\right)^2} & , \quad x \geq b \end{cases} \quad (15)$$

Aralık Tip II üssel bulanık sayının görsel bir gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Aralık Tip II üssel bulanık sayısının bir örneği

Bulanık sayı yakınsama problemlerinde iki bulanık sayı arasındaki uzaklık için genellikle aşağıdaki uzaklık kullanılabilir [17],

$$D(A, B) = \sqrt{\int_0^1 \left((L_A(\alpha) - L_B(\alpha))^2 + (R_A(\alpha) - R_B(\alpha))^2 \right) d\alpha} \quad (16)$$

İki aralık Tip II bulanık sayı arasındaki uzaklık için Öklid uzaklığının bir genişlemesi olan aşağıdaki tanım kullanılabilir.

$$D(A, B) = \sqrt{\int_0^1 \left((L_{A_i}(\alpha) - L_{B_i}(\alpha))^2 + (L_{A_d}(\alpha) - L_{B_d}(\alpha))^2 + (R_{A_i}(\alpha) - R_{B_i}(\alpha))^2 + (R_{A_d}(\alpha) - R_{B_d}(\alpha))^2 \right) d\alpha} \quad (17)$$

Bulgular

Aralık Tip II Simetrik Olmayan Üssel Bulanık Sayısının Aralık Tip II Parametrik Yamuk Bulanık Sayı Yakınsaması

Simetrik olmayan gauss bulanık sayının üyelik fonksiyonunun altında kalan alan sol ve sağ taraf için sırasıyla

$$\int_{-\infty}^b e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{b-x}{\delta}\right)^2} dx = \frac{\delta\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (18)$$

$$\int_b^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{\theta}\right)^2} dx = \frac{\theta\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

şeklinde. Bu çalışmada, simetrik olmayan üssel bulanık sayının beklenen aralığını bulmak için herhangi verilen bir bulanık sayı için $\int_0^1 L_A(\alpha) d\alpha$, $\int_0^1 R_A(\alpha) d\alpha$ integrallerine karşılık gelebilecek aşağıdaki eşitlikler dikkate alınmıştır.

$$\int_0^1 L_A(\alpha) d\alpha = L_A(1) - \int_{L_A(0)}^{L_A(1)} \underline{\mu}_A(x) dx \quad (20)$$

$$\int_0^1 R_A(\alpha) d\alpha = R_A(1) + \int_{R_A(1)}^{R_A(0)} \bar{\mu}_A(x) dx \quad (21)$$

Burada $\underline{\mu}_A(x)$ ve $\bar{\mu}_A(x)$ sırasıyla $L_A(\alpha)$ ve $R_A(\alpha)$ 'nın ters fonksiyonlarıdır. B simetrik olmayan üssel bulanık sayı için (20)-(21) eşitliklerinde, $L_B(0)$ ve $R_B(0)$ yerine sırasıyla $-\infty$ ve ∞ kullanıldığında ilgili eşitlikler simetrik olmayan üssel bulanık sayı için

$$\int_0^1 L_B(\alpha) d\alpha = L_B(1) - \frac{\delta\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (22)$$

$$\int_0^1 R_B(\alpha) d\alpha = R_B(1) + \frac{\theta\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (23)$$

şeklinde yazılmıştır. Buna göre simetrik olmayan üssel bulanık sayının beklenen aralığı

$$BA(B) = \left(b - \frac{\delta\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}, b + \frac{\theta\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \quad (24)$$

olarak alınmıştır.

Bu çalışmada verilen aralık Tip II simetrik olmayan üssel bulanık sayının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsaması dikkate alınmış, iç ve dış fonksiyonlarına bağlı olan beklenen değerlerini birbirine eşitleyen ve iki bulanık sayı arasındaki α -kesitlerine bağlı uzaklığı en küçük yapan üyelik fonksiyon

değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Üssel fonksiyonun yapısından kaynaklanan problemlerin üstesinden gelebilmek için (17)'deki uzaklık yerine aşağıdaki amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

$$F = \sum_{j=1}^n \left((L_{A_i}(\alpha_j) - L_{B_i}(\alpha_j))^2 + (L_{A_d}(\alpha_j) - L_{B_d}(\alpha_j))^2 + (R_{A_i}(\alpha_j) - R_{B_i}(\alpha_j))^2 + (R_{A_d}(\alpha_j) - R_{B_d}(\alpha_j))^2 \right) \quad (25)$$

Burada

$$L_{A_i}(\alpha_j) = a_{1_i} - (1 - \alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \sigma_i \quad (26)$$

$$R_{A_i}(\alpha_j) = a_{2_i} + (1 - \alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \beta_i \quad (27)$$

$$L_{A_d}(\alpha_j) = a_{1_d} - (1 - \alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_d}}} \sigma_d \quad (28)$$

$$R_{A_d}(\alpha_j) = a_{2_d} + (1 - \alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_d}}} \beta_d \quad (29)$$

$$L_{B_i}(\alpha_j) = b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \delta_i \quad (30)$$

$$R_{B_i}(\alpha_j) = b + (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_i \quad (31)$$

$$L_{B_d}(\alpha_j) = b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \delta_d \quad (32)$$

$$R_{B_d}(\alpha_j) = b + (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_d \quad (33)$$

şeklindedir.

(25)'de yer alan amaç fonksiyonuna en küçük değerini veren ve ilgili iki bulanık sayının beklenen değerlerini birbirine eşit kılan optimizasyon problemi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\min(\sum_{j=1}^n \left((L_{A_i}(\alpha_j) - L_{B_i}(\alpha_j))^2 + (L_{A_d}(\alpha_j) - L_{B_d}(\alpha_j))^2 + (R_{A_i}(\alpha_j) - R_{B_i}(\alpha_j))^2 + (R_{A_d}(\alpha_j) - R_{B_d}(\alpha_j))^2 \right)) \quad (34)$$

$$\text{kısıtlar: } a_{1_i} - \frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \sigma_i = b - \frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (35)$$

$$a_{2_i} + \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \beta_i = b + \frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (36)$$

$$a_{1_d} - \frac{s_{L_d}}{1+s_{L_d}} \sigma_d = b - \frac{\delta_d \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (37)$$

$$a_{2_d} + \frac{s_{R_d}}{1+s_{R_d}} \beta_d = b + \frac{\theta_d \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (38)$$

(35)-(38)'deki kısıtları sağlayacak şekilde (34) de yer alan amaç fonksiyonunun en küçük a_{1_i} , a_{2_i} , a_{1_d} , a_{2_d} , σ_i , β_i , σ_d , β_d parametre değerlerini bulmak için λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 lagranj çarpanları olmak üzere aşağıdaki L amaç fonksiyonunun en küçük değerini veren parametre değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.

$$L = F - \lambda_1 \left(a_{1_i} - \frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \sigma_i - b + \frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) - \lambda_2 \left(a_{2_i} + \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \beta_i - b - \frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) - \lambda_3 \left(a_{1_d} - \frac{s_{L_d}}{1+s_{L_d}} \sigma_d - b + \frac{\delta_d \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) - \lambda_4 \left(a_{2_d} + \frac{s_{R_d}}{1+s_{R_d}} \beta_d - b - \frac{\theta_d \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \quad (39)$$

Bunun için $\frac{\partial L}{\partial a_{1_i}} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \sigma_i} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial a_{2_i}} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \beta_i} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial a_{1_d}} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \lambda_3} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \sigma_d} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial a_{2_d}} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \lambda_4} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \beta_d} = 0$ eşitlikleri çözülmüş ve bilinmeyen parametreleri veren eşitlikler elde edilmiştir.

Teorem İç ve dış fonksiyonların beklenen değerlerini (35)-(38)'de verildiği gibi birbirine eşitleyen ve (34)'de verilen amaç fonksiyonunun en küçük değerini veren, aralık Tip II simetrik olmayan üssel bulanık sayının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsamasının a_{1_i} , a_{2_i} , a_{1_d} , a_{2_d} , σ_i , β_i , σ_d , β_d bilinmeyen parametre değerlerini veren eşitlikler aşağıdaki gibidir:

$$a_{1_i} = \frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \sigma_i + b - \frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (40)$$

$$a_{2_i} = -\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}}\beta_i + b + \frac{\theta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (41)$$

$$\sigma_i = \frac{\left(\frac{1+s_{L_i}}{s_{L_i}}\right)\left(\left(-\frac{\delta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \delta_i\sum_{i=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}}\right)}{\left(\left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \left(\frac{1+s_{L_i}}{s_{L_i}}\right)\left(\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_i}}}\right)\right)} + \frac{\left(-\frac{\delta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - \delta_i\sum_{j=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}}{\left(\left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \left(\frac{1+s_{L_i}}{s_{L_i}}\right)\left(\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_i}}}\right)\right)} \quad (42)$$

$$\beta_i = \frac{-\left(\frac{1+s_{R_i}}{s_{R_i}}\right)\left(\left(\frac{\theta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \theta_i\sum_{j=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}}\right)}{\left(\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}}\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} + \frac{1+s_{R_i}}{s_{R_i}}\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{R_i}}}\right)} + \frac{\left(\left(\frac{\theta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - \theta_i\sum_{j=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}\right)}{\left(\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}}\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} + \frac{1+s_{R_i}}{s_{R_i}}\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{R_i}}}\right)} \quad (43)$$

$$a_{1_d} = \frac{s_{L_d}}{1+s_{L_d}}\sigma_d + b - \frac{\delta_d\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (44)$$

$$a_{2_d} = -\frac{s_{R_d}}{1+s_{R_d}}\beta_d + b + \frac{\theta_d\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \quad (45)$$

$$\sigma_d = \frac{\left(\frac{1+s_{L_d}}{s_{L_d}}\right)\left(\left(-\frac{\delta_d\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_d}}} + \delta_d\sum_{i=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_d}}}\right)}{\left(\left(\frac{s_{L_d}}{1+s_{L_d}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_d}}} + \left(\frac{1+s_{L_d}}{s_{L_d}}\right)\left(\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_d}}}\right)\right)} + \frac{\left(-\frac{\delta_d\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - \delta_d\sum_{j=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}}{\left(\left(\frac{s_{L_d}}{1+s_{L_d}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_d}}} + \left(\frac{1+s_{L_d}}{s_{L_d}}\right)\left(\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_d}}}\right)\right)} \quad (46)$$

$$\lambda_1 = \frac{2(1+s_{L_i})\sum_{i=1}^n\left(a_{1_i} - (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}}\sigma_i - b + (-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}\delta_i\right)(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}}}{s_{L_i}}$$

(48) deki eşitlikte a_{1_i} ve λ yerine konulduğunda

$$\beta_d = \frac{-\left(\frac{1+s_{R_d}}{s_{R_d}}\right)\left(\left(\frac{\theta_d\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_d}}} - \theta_d\sum_{j=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_d}}}\right)}{\left(\frac{s_{R_d}}{1+s_{R_d}}\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_d}}} + \frac{1+s_{R_d}}{s_{R_d}}\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{R_d}}}\right)} + \frac{\left(\left(\frac{\theta_d\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}\right)\frac{n(n+1)}{2} - \theta_d\sum_{j=1}^n(-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}\right)}{\left(\frac{s_{R_d}}{1+s_{R_d}}\frac{n(n+1)}{2} - 2\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_d}}} + \frac{1+s_{R_d}}{s_{R_d}}\sum_{j=1}^n(1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{R_d}}}\right)} \quad (47)$$

Burada, s_{L_i} , s_{R_i} , s_{L_d} , s_{R_d} seçimlerinde her alfa seviyesi için $L_{A_d}(\alpha_j) \leq L_{A_i}(\alpha_j) \leq R_{A_i}(\alpha_j) \leq R_{A_d}(\alpha_j)$ ve $L_{B_d}(\alpha_j) \leq L_{B_i}(\alpha_j) \leq R_{B_i}(\alpha_j) \leq R_{B_d}(\alpha_j)$ koşulları sağlanmalıdır.

İspat (39) nolu eşitlik dikkate alındığında

$\frac{\partial L}{\partial a_{1_i}} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \sigma_i} = 0$, $\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = 0$ eşitlikleri sıra ile çözüldüğü zaman

$$2\sum_{i=1}^n\left(a_{1_i} - (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}}\sigma_i - b + (-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}\delta_i\right) - \lambda_1 = 0 \quad (48)$$

$$-2\sum_{i=1}^n\left(a_{1_i} - (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}}\sigma_i - b + (-2\ln\alpha_j)^{\frac{1}{2}}\delta_i\right)(1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \lambda_1\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} = 0 \quad (49)$$

$$a_{1_i} - \frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}}\sigma - b + \frac{\delta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} = 0 \quad (50)$$

eşitlikleri elde edilir. (50) eşitliğinden aşağıdaki a_{1_i} değerine ulaşılır.

$$a_{1_i} = \frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}}\sigma_i + b - \frac{\delta_i\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}$$

(49) eşitliğinden ise λ_1 çıkartılabilir.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \sigma_i + b - \frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} - (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \sigma_i - b + (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \delta_i \right) \frac{(1+s_{L_i}) \sum_{i=1}^n \left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \sigma_i + b - \frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} - (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \sigma_i - b + (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \delta_i \right) (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}}}{s_{L_i}} = 0$$

elde edilebilir. Buradan

$$\sigma_i \left(\sum_{j=1}^n \left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} - (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \right) + \left(-\frac{1+s_{L_i}}{s_{L_i}} \right) \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} - (1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_i}}} \right) \right) \right) + \sum_{i=1}^n \left(-\frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} + (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \delta_i \right) - \frac{(1+s_{L_i})}{s_{L_i}} \left(\sum_{i=1}^n \left(-\frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} + (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \delta_i \right) (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \right) = 0$$

ve

$$\sigma_i \left(\left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \right) \frac{n(n+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \left(\frac{1+s_{L_i}}{s_{L_i}} \right) \left(\sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_i}}} \right) \right) + \left(-\frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \frac{n(n+1)}{2} + \delta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} - \frac{(1+s_{L_i})}{s_{L_i}} \left(\left(-\frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \delta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \right) = 0$$

sonucuna ulaşılır ve aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$\sigma_i = \frac{\left(\frac{(1+s_{L_i})}{s_{L_i}} \left(\left(-\frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \delta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} \right) - \left(-\frac{\delta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \frac{n(n+1)}{2} - \delta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \right)}{\left(\left(\frac{s_{L_i}}{1+s_{L_i}} \right) \frac{n(n+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{L_i}}} + \left(\frac{1+s_{L_i}}{s_{L_i}} \right) \left(\sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{L_i}}} \right) \right)}$$

Benzer şekilde yine (39)'da yer alan eşitlik ve

$$\frac{\partial L}{\partial a_{2_i}} = 0, \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = 0, \frac{\partial L}{\partial \beta_i} = 0 \text{ eşitlikleri dikkate}$$

alındığında sırasıyla

$$2 \sum_{j=1}^n \left(a_{2_i} + (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \beta_i - b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_i \right) - \lambda_2 = 0$$

$$a_{2_i} + \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \beta_i - b - \frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} = 0$$

$$2 \sum_{j=1}^n \left(a_{2_i} + (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \beta_i - b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_i \right) (1 - \alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \lambda_2 \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} = 0$$

$$- \alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \lambda_2 \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} = 0$$

elde edilir. Yukarıdaki ilk iki eşitlikten

λ_2

$$= 2 \sum_{j=1}^n \left(a_{2_i} + (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \beta_i - b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_i \right)$$

$$a_{2_i} = -\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \beta_i + R_{B_i}(1) + \frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}$$

Bunları üçüncü denkleme yerine koyduğumuzda

$$2 \sum_{j=1}^n \left(-\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \beta_i + b + \frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} + (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \beta_i - b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_i \right) (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - 2 \sum_{j=1}^n \left(-\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \beta_i + b + \frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} + (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \beta_i - b - (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \theta_i \right) \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} = 0$$

ve buradan da

$$\beta_i \left(\left(\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \right)^2 \frac{n(n+1)}{2} - \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} + \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{R_i}}} \right) + \left(\left(\frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \theta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \left(\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \right) \left(\left(\frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \frac{n(n+1)}{2} - \theta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \right) \right) = 0$$

elde edilir. Aşağıdaki β_i değeri bu eşitlikten çıkartılabilir.

$$\beta_i = \frac{\left(-\left(\frac{1+s_{R_i}}{s_{R_i}} \right) \left(\left(\frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} - \theta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} \right) + \left(\left(\frac{\theta_i \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \frac{n(n+1)}{2} - \theta_i \sum_{j=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \right) \right)}{\left(\frac{s_{R_i}}{1+s_{R_i}} \frac{n(n+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{1}{s_{R_i}}} + \frac{1+s_{R_i}}{s_{R_i}} \sum_{j=1}^n (1-\alpha_j)^{\frac{2}{s_{R_i}}} \right)}$$

Benzer şekilde, a_{1_d} , a_{2_d} , σ_d , β_d ispatlarında yapılabilir.

Örnek Aşağıdaki iç ve dış üyelik fonksiyonları ile tanımlanan aralık Tip II üssel bulanık sayısı ele alınsın.

$$\mu_{B_i}(x) = \begin{cases} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{3-x}{2} \right)^2} & , x \leq 3 \\ e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-3}{4} \right)^2} & , x \geq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{B_d}(x) = \begin{cases} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{3-x}{3} \right)^2} & , x \leq 3 \\ e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-3}{5} \right)^2} & , x \geq 3 \end{cases}$$

(14) ve (15)'de yer alan aralık Tip II üssel bulanık sayının iç ve dış üyelik fonksiyonları dikkate alındığında,

$b = 3$, $\delta_i = 2$, $\theta_i = 4$, $\delta_d = 3$, $\theta_d = 5$ olduğu görülmektedir.

Yakınsamada $s_{L_i} = 1.7$, $s_{R_i} = 2$, $s_{L_d} = 1.5$, $s_{R_d} = 2$ olarak alınsın ve $\alpha_1 = 0.1$, $\alpha_2 = 0.2$, $\alpha_3 = 0.3$, $\alpha_4 = 0.4$, $\alpha_5 = 0.5$, $\alpha_6 = 0.6$, $\alpha_7 = 0.7$, $\alpha_8 = 0.8$, $\alpha_9 = 0.9$, $\alpha_{10} = 1$ kesitlerinde çalışılsın.

Buna göre (42), (43), (40), (41) nolu eşitliklerinde b , δ_i , θ_i , s_{L_i} , s_{R_i} değerleri yerine konulduğunda sırasıyla

$$\sigma_i = \frac{\frac{(1+1.7)}{1.7} \left(\left(\frac{-2\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{1.7}} + 2 \sum_{i=1}^n (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{1.7}} \right)}{\left(\left(\frac{1.7}{1+1.7} \right) \frac{10(10+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{1.7}} + \left(\frac{1+1.7}{1.7} \right) \left(\sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{2}{1.7}} \right) \right)} + \frac{-\left(\frac{-2\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \frac{10(10+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^{10} (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}}}{\left(\left(\frac{1.7}{1+1.7} \right) \frac{10(10+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{1.7}} + \left(\frac{1+1.7}{1.7} \right) \left(\sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{2}{1.7}} \right) \right)}$$

$$\beta_i = \frac{-\left(\frac{1+2}{2} \right) \left(\left(\frac{4\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{2}} - 4 \sum_{j=1}^{10} (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{2}} \right)}{\left(\frac{2}{1+2} \frac{10(10+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{2}} + \frac{1+2}{2} \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{2}{2}} \right)} + \frac{\left(\left(\frac{4\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \right) \frac{10(10+1)}{2} - 4 \sum_{j=1}^{10} (-2 \ln \alpha_j)^{\frac{1}{2}} \right)}{\left(\frac{2}{1+2} \frac{10(10+1)}{2} - 2 \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{1}{2}} + \frac{1+2}{2} \sum_{j=1}^{10} (1-\alpha_j)^{\frac{2}{2}} \right)}$$

$$a_{1_i} = \frac{1.7}{1+1.7} \sigma_i + 3 - \frac{2\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}$$

$$a_{2i} = -\frac{2}{1+2}\beta_i + 3 + \frac{4\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}}$$

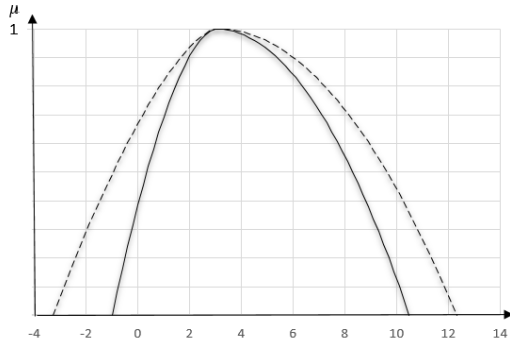
elde edilir.

Benzer şekilde (46), (47), (44), (45) numaralı eşitliklerinde b , δ_d , θ_d , s_{L_d} , s_{R_d} değerleri yerine konularak hesaplamalar yapılır.

$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq -0.98662 \\ 1 - \left(\frac{3.009358 - x}{3.995978}\right)^{1.7} & , -0.98662 \leq x \leq 3.009358 \\ 1 & , 3.009358 \leq x \leq 3.035028 \\ 1 - \left(\frac{x - 3.035028}{7.465437}\right)^2 & , 3.035028 \leq x \leq 10.50046 \\ 0 & , x \geq 10.50046 \end{cases}$$

$$\mu_{A_d}(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq -3.26964 \\ 1 - \left(\frac{3.006989 - x}{6.276631}\right)^{1.5} & , -3.26964 \leq x \leq 3.006989 \\ 1 & , 3.006989 \leq x \leq 3.110975 \\ 1 - \left(\frac{x - 3.110975}{9.23101}\right)^2 & , 3.110975 \leq x \leq 12.34199 \\ 0 & , x \geq 12.34199 \end{cases}$$

Elde edilen aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı Şekil 3'te gösterilmiştir



Şekil 3. Aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı

Tartışma ve Sonuç

Belirsizlik, çalışmalarda sıklıkla ortaya çıkabilecek bir kavramdır. Bulanık sayı ise bu belirsizliğin ele alınmasında avantajlar sağlar. Bununla birlikte, karmaşık bulanık sayılar çalışmalarda bazı zorluklar çıkartabilir ve bu durumun üstesinden gelebilmek için bu

İlgili hesaplamalar sonunda, aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayının iç ve dış üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi bulunur.

sayıların daha standart formları olan yakınsamaları tercih edilebilir. Bazı çalışmalarda, belirsizlik daha çok ele alınmak istenebilir ve üyelik derecelerinin de bulanık olduğu Tip II bulanık sayıları süreçlerde kullanılabilir. Bu durumları dikkate alınarak, bu çalışmada aralık Tip II üssel bulanık sayının aralık Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsaması kısıtlı optimizasyon problemi ile elde edilmeye çalışılmış ve bilinmeyen parametre değerlerini veren formüller bulunmuştur. Optimizasyon probleminde beklenen aralıkların eşitliği kısıt olarak alınmıştır. Önerilen yöntem bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri Yazarlar bu çalışmanın araştırması, yazarlığı veya

yayınlanması için herhangi bir mali destek almamışlardır.

Etik Kurul Onayı ve İzinler -

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazarların Katkısı Tüm yazarlar, bu çalışmanın planlanmasına, yürütülmesine veya analizine yazar olarak dahil edilmek üzere yeterince katkıda bulunmuştur. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

- [1] Ban, A. I., Coroianu, L., & Khastan, A. (2016). Conditioned weighted L–R approximations of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 283, 56-82. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.03.012>
- [2] Nasibov, E. N., & Peker, S. (2008). On the nearest parametric approximation of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(11), 1365-1375. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.08.005>
- [3] Hao, Z., Xu, Z., Zhao, H., & Zhang, R. (2021). The context-based distance measure for intuitionistic fuzzy set with application in marine energy transportation route decision making. *Applied Soft Computing*, 101, Article 107044. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.107044>
- [4] Krawczak, M., & Szkatuła, G. (2020). On matching of intuitionistic fuzzy sets. *Information Sciences*, 517, 254-274. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.11.050>
- [5] Alcantud, J. C. R., Khameneh, A. Z., & Kilicman, A. (2020). Aggregation of infinite chains of intuitionistic fuzzy sets and their application to choices with temporal intuitionistic fuzzy information. *Information Sciences*, 514, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.12.008>
- [6] Sodenkamp, M. A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2018). An aggregation method for solving group multi-criteria decision-making problems with single-valued neutrosophic sets. *Applied Soft Computing*, 71, 715-727. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.07.020>
- [7] Grzegorzewski, P. (2002). Nearest interval approximation of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and systems*, 130(3), 321-330. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(02\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00098-2)
- [8] Hai, S., Gong, Z., & Chen, Z. (2020). Weighted pseudometric approximation of 2-dimensional fuzzy numbers by fuzzy 2-cell prismoid numbers preserving the centroid. *Fuzzy Sets and Systems*, 387, 158-173. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2018.12.013>
- [9] Liu, X., & Lin, H. (2007). Parameterized approximation of fuzzy number with minimum variance weighting functions. *Mathematical and computer modelling*, 46(11-12), 1398-1409. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.01.011>
- [10] Coroianu, L., & Stefanini, L. (2016). General approximation of fuzzy numbers by F-transform. *Fuzzy Sets and Systems*, 288, 46-74. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.03.015>
- [11] Chanas, S. (2001). On the interval approximation of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and Systems*, 122(2), 353-356. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(00\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(00)00080-4)
- [12] Coroianu, L., Gagolewski, M., & Grzegorzewski, P. (2013). Nearest piecewise linear approximation of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 233, 26-51. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2013.02.005>
- [13] Yeh, C. T., & Chu, H. M. (2014). Approximations by LR-type fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 257, 23-40. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2013.09.004>

- [14] Huang, H., Wu, C., Xie, J., & Zhang, D. (2017). Approximation of fuzzy numbers using the convolution method. *Fuzzy Sets and Systems*, 310, 14-46. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2016.06.010>
- [15] Ban, A. (2008). Approximation of fuzzy numbers by trapezoidal fuzzy numbers preserving the expected interval. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(11), 1327-1344. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.09.008>
- [16] Ban, A. I., & Coroianu, L. (2015). Existence, uniqueness, calculus and properties of triangular approximations of fuzzy numbers under a general condition. *International Journal of Approximate Reasoning*, 62, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2015.05.004>
- [17] Grzegorzewski, P., & Pasternak-Winiarska, K. (2014). Natural trapezoidal approximations of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 250, 90-109. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2014.03.003>
- [18] Wang, G., & Li, J. (2017). Approximations of fuzzy numbers by step type fuzzy numbers. *Fuzzy sets and systems*, 310, 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2016.08.003>
- [19] Zhou, J., Miao, D., Gao, C., Lai, Z., & Yue, X. (2019). Constrained three-way approximations of fuzzy sets: From the perspective of minimal distance. *Information Sciences*, 502, 247-267. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.06.004>
- [20] Ban, A. I., & Coroianu, L. (2012). Nearest interval, triangular and trapezoidal approximation of a fuzzy number preserving ambiguity. *International Journal of Approximate Reasoning*, 53(5), 805-836.
- [21] Peker, S., & Nasibov, E. (2019). Tip II genelleştirilmiş çan şekilli bulanık sayısının Tip II parametrik yamuk bulanık sayı yakınsanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 163-169. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.466901>
- [22] Huang, S., Zhao, G., & Chen, M. (2018). A fast analytical approximation type-reduction method for a class of spiked concave type-2 fuzzy sets. *International Journal of Approximate Reasoning*, 103, 212-226. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2018.10.002>
- [23] Wang, C. Y., & Wan, L. (2018). Type-2 fuzzy implications and fuzzy-valued approximation reasoning. *International Journal of Approximate Reasoning*, 102, 108-122. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2018.08.004>
- [24] Dutta, P., & Limboo, B. (2017). Bell-shaped fuzzy soft sets and their application in medical diagnosis. *Fuzzy Information and Engineering*, 9(1), 67-91. <https://doi.org/10.1016/j.fiae.2017.03.004>



Analysis of ${}^9\text{Be}$ Fusion Cross Sections via a Simple Cluster Model

Murat AYGUN¹

How to cite: Aygun, M. (2021). Analysis of ${}^9\text{Be}$ fusion cross sections via a simple cluster model. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 33-41. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.857418>

Research Article

Corresponding Author
Murat AYGUN
murata.25@gmail.com

ORCID of the Author
M.A.: 0000-0002-4276-3511

Received: 10.01.2021
Accepted: 26.04.2021

Abstract

The effects of different cluster configurations of ${}^9\text{Be}$ nucleus on the cross-sections of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$, ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$, ${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$ and ${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$ fusion reactions have been explored for the first time using a simple cluster approach. The real potential has been calculated based on the $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases of the ${}^9\text{Be}$ nucleus while the imaginary potential is evaluated as Woods-Saxon potential. It has been seen that our results are in agreement with the experimental data. In addition to this, the fusion barrier height (V_B) and barrier position (R_B) values have been given for each reaction and cluster case.

Keywords: Cluster structure, fusion reactions, double folding model

Basit Bir Küme Modeli Aracılığıyla ${}^9\text{Be}$ Füzyon Tesir Kesitlerinin Analizi

¹Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, 13000, Bitlis, Turkey

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Öz

${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$, ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$, ${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$ ve ${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$ füzyon reaksiyonlarının kesitleri üzerine ${}^9\text{Be}$ çekirdeğinin farklı küme konfigürasyonlarının etkileri basit bir küme yaklaşımı kullanılarak ilk kez araştırılmıştır. Sanal potansiyel Woods-Saxon potansiyeli olarak değerlendirilirken, reel potansiyel ${}^9\text{Be}$ çekirdeğinin $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ ve $n + {}^8\text{Be}$ küme durumlarına göre hesaplanmıştır. Sonuçlarımızın deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Buna ek olarak füzyon bariyer yüksekliği (V_B) ve bariyer pozisyon (R_B) değerleri her bir reaksiyon ve küme durumu için verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küme yapı, füzyon reaksiyonları, çift katlı model

Introduction

A cluster structure can be evaluated as a structure resulting from the movements of nucleons in a nucleus. Thus, a structure consisting of nucleons can be thought as one body [1]. In this respect, the ${}^9\text{Be}$ nucleus can be assumed as $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster structures [2–4] although the cluster structure of ${}^9\text{Be}$ is not known exactly yet [5]. Therefore, cluster

structure is still a hot topic, and many studies can be found in the literature.

In recent years, Aygun has proposed a simple cluster method, and has performed the elastic scattering calculations of ${}^9\text{Li}$ [6], ${}^9\text{Be}$ [7], ${}^{12}\text{Be}$ [8], ${}^{12}\text{B}$ [9] and ${}^{22}\text{Ne}$ [10] nuclei. He has gotten the results compatible with the experimental data. However, this approach has not been applied to fusion cross-sections (FCSs). Therefore, we believe that it will be useful to

evaluate this approach in the theoretical analysis of fusion reactions.

We examine the effects of different cluster configurations of the ${}^9\text{Be}$ nucleus on the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$, ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$, ${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$ and ${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$ reactions over a simple cluster model. ${}^9\text{Be}$ with low binding energy and cluster structure is an important nucleus in the field of nuclear physics. Also, it has a usage area in the field of nuclear technology like thermonuclear devices [11, 12]. We first obtain the density distributions for $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases of the ${}^9\text{Be}$ nucleus. Then, we calculate the real potentials for each fusion reaction using these density distributions within a double folding (DF) model. We get the fusion cross-sections via the optical model (OM). Finally, we give fusion barrier height (V_B) and barrier position (R_B) values for each reaction and each cluster case.

Theoretical Formalism

Calculation Process

The total effective potential that is a significant parameter in the analysis of fusion reactions can be considered as

$$V_{Total}(r) = V_{Coulomb}(r) + \underbrace{V(r)}_{\text{Real}} + \underbrace{iW(r)}_{\text{Imaginary}} \quad (1)$$

$$V_{Nuclear}(r)$$

$V_{Coulomb}(r)$ potential is given by [13]

$$V_{Coulomb}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_P Z_T e^2}{r}, \quad r \geq R_C$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_P Z_T e^2}{2R_C} \left(3 - \frac{r^2}{R_C^2} \right), \quad r < R_C \quad (2)$$

$$R_C = 1.25(A_P^{\frac{1}{3}} + A_T^{\frac{1}{3}}).$$

The real potential is gotten for five cluster structures of ${}^9\text{Be}$. Detailed information about these structures can be found in our previous study [7]. The calculations of the real potential are carried within the framework of the DF potential shown by

$$V_{DF}(\vec{r}) = \int d\vec{r}_1 \int d\vec{r}_2 \rho_P(\vec{r}_1) \rho_T(\vec{r}_2) v_{NN}(\vec{r} - \vec{r}_1 + \vec{r}_2) \quad (3)$$

where $\rho_{P(T)}(\vec{r}_{1(2)})$, respectively are the densities of projectile (target). The densities of ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{186}\text{W}$ and ${}^{208}\text{Pb}$ targets are accepted in the two parameter Fermi (2pF) form, and the parameters are demonstrated in Table 1. On the other hand, the densities of ${}^{64}\text{Zn}$ and ${}^{144}\text{Sm}$ targets are supplied from RIPL-3 [14, 15].

Table 1. 2pF density parameters of the ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{186}\text{W}$ and ${}^{208}\text{Pb}$ nuclei

Nucleus	c	z	ρ_0	Ref.
${}^{28}\text{Si}$	3.15	0.475	0.175	[16]
${}^{186}\text{W}$	6.58	0.480	0.148087	[17]
${}^{208}\text{Pb}$	6.62	0.551	0.1600	[18]

The nucleon-nucleon interaction (v_{NN}) is parameterized by [13]

$$v_{NN}(r) = \gamma_1 \frac{e^{-\gamma_2 r}}{\gamma_2 r} - \gamma_3 \frac{e^{-\gamma_4 r}}{\gamma_4 r} - 276 \left(1 - 0.005 \frac{E_{Lab}}{A_p} \right) \delta(r) \text{ MeV} \quad (4)$$

where γ_1 , γ_2 , γ_3 and γ_4 are 7999 MeV, 4.0 fm^{-1} , 2134 MeV and 2.5 fm^{-1} , respectively. The imaginary potential is applied in the Woods-Saxon (WS) form

$$W(r) = - \frac{W_0}{1 + \exp \left(\frac{r - r_w (A_p^{\frac{1}{3}} + A_T^{\frac{1}{3}})}{a_w} \right)} \quad (5)$$

where W_0 , r_w and a_w are the depth, radius, and diffuseness parameters, respectively. The codes

DFPOT [19] and FRESCO [20] are used in the DF model and the cross-section calculations, respectively.

Results and Discussion

The total potential for the theoretical analysis of the fusion reactions has been calculated using Equation (1). According to this, the real potential has been acquired via the DF model by using the density distributions calculated for five different cluster cases of ${}^9\text{Be}$. The imaginary potential has been taken as the WS potential. The appropriate values of WS potential have been researched and given in Table 2. Thus, we have plotted the total potential according to the distance in Figure 1.

Table 2. The imaginary potential parameters (W_0 , r_w and a_w) used in the theoretical analysis of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^{64}\text{Zn}$, ${}^{144}\text{Sm}$, ${}^{186}\text{W}$ and ${}^{208}\text{Pb}$ fusion reactions for $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases

Reaction	Parameter	$\alpha + \alpha + n$	$d + {}^7\text{Li}$	${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$	${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$	$n + {}^8\text{Be}$
${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$	W_0 (MeV)	4.00	3.00	3.40	3.10	2.70
	r_w (fm)	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	a_w (fm)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$	W_0 (MeV)	12.8	15.0	16.2	12.8	12.8
	r_w (fm)	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
	a_w (fm)	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$	W_0 (MeV)	11.3	11.7	10.1	7.30	3.30
	r_w (fm)	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
	a_w (fm)	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$	W_0 (MeV)	3.00	2.50	2.60	2.30	1.70
	r_w (fm)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	a_w (fm)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$	W_0 (MeV)	5.60	4.80	4.80	3.60	2.40
	r_w (fm)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	a_w (fm)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

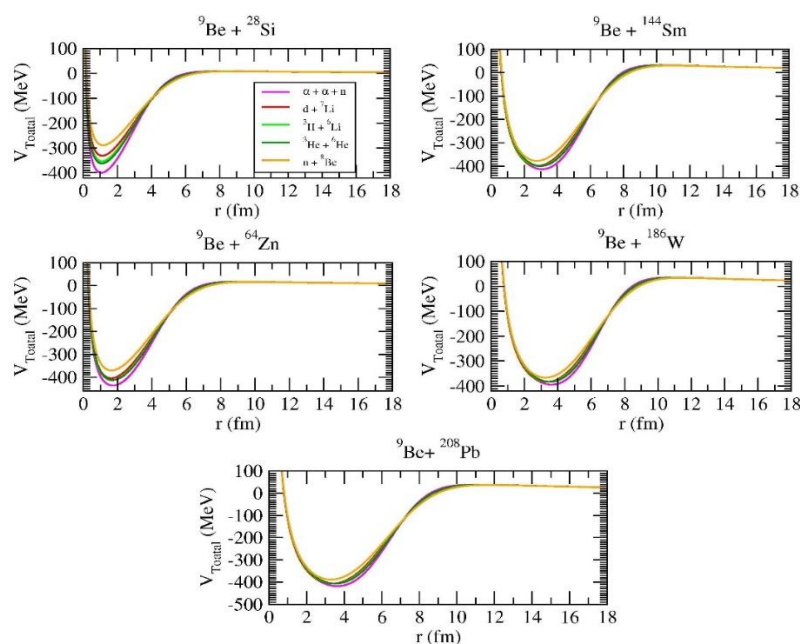


Figure 1. The total potentials (in MeV) according to r (fm) for ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^{64}\text{Zn}$, ${}^{144}\text{Sm}$, ${}^{186}\text{W}$ and ${}^{208}\text{Pb}$ fusion systems by using $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases

As will be seen from Figure 1, the deepest potential for all reactions has been obtained for $\alpha + \alpha + n$ cluster case. Accordingly, it means that this potential is more attractive than the potentials of the other cluster cases. In addition, it has been seen that the shallowest potential has been gotten for $n + {}^8\text{Be}$. Finally, it has been observed that nuclear pocket width has increased as the nucleon number of target nucleus has increased.

Then, we have calculated the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$ reaction for $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases of ${}^9\text{Be}$. We have compared the results with the data in Figure 2. We have tracked that the $\alpha + \alpha + n$ and ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$ results are very similar. However, we have noticed that the results of all cluster cases have shown an average behavior with the experimental data.

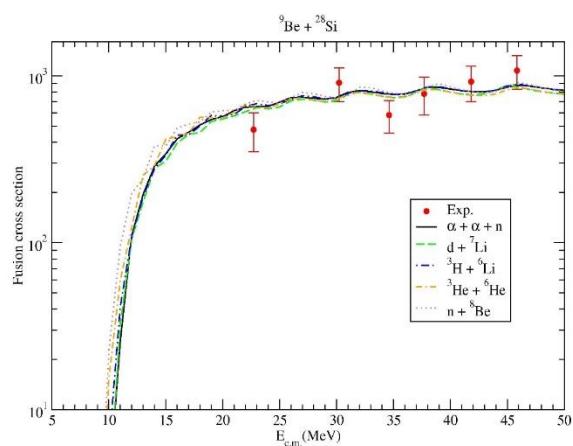


Figure 2. The FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$ reaction calculated using $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases. The data is from [21]

We have obtained the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$ reaction for the same cluster structures. We have compared the theoretical results with the data in Figure 3. We have realized that the results are generally similar to each other, and display good consistent with the data.

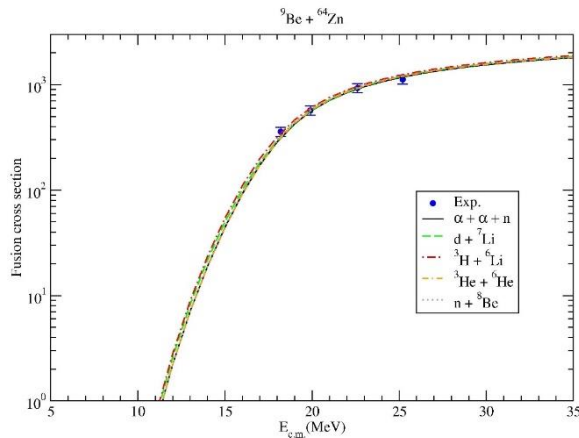


Figure 3. The same Figure 2, but for ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$ fusion reaction. The data is from [22]

Then, we have acquired the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$ reaction for five different cluster cases. We have showed our results together with the data in Figure 4. We have monitored that the cluster results are different from each other at small angles while they are very close at further angles. Additionally, we can say that their compatibility with the data is good.

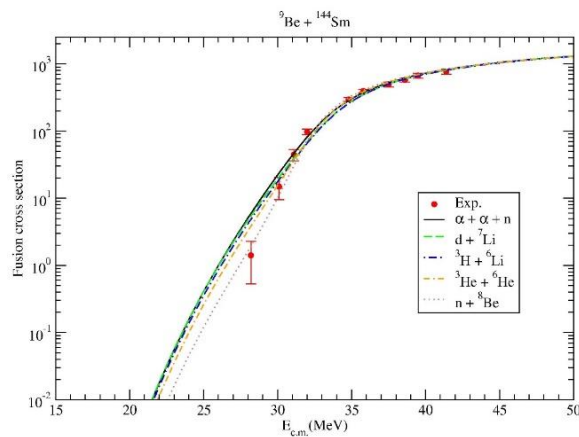


Figure 4. The same Figure 2, but for ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$ fusion reaction. The data is from [23]

We have gotten the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$ reaction for various cluster cases of the ${}^9\text{Be}$ nucleus. We have compared the results with the data in Figure 5. We have experienced that the cluster cases are very close to each other at forward

angles, and are in good agreement with the data in general sense. Additionally, we have observed that $n + {}^8\text{Be}$ cluster case is slightly better than the other cluster cases.

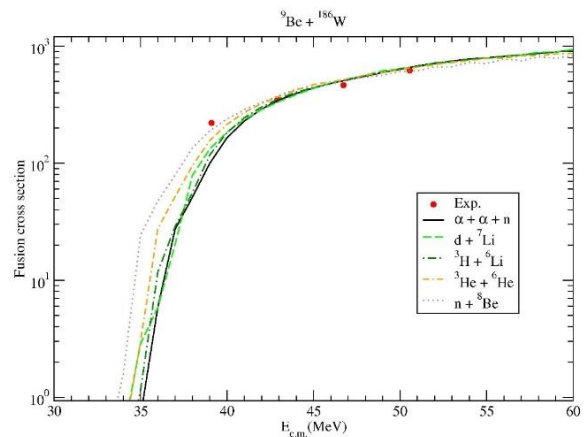


Figure 5. The same Figure 2, but for ${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$ fusion reaction. The data is from [24]

Finally, we have calculated the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$ reaction for $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases of ${}^9\text{Be}$. We have compared our results and the data in Figure 6. We have observed that the $d + {}^7\text{Li}$ and ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$ cluster cases are very close to each other. Also, we have noticed that other cluster results, except for $n + {}^8\text{Be}$ cluster case, have shown an average behavior with the data. However, we have observed that the compatibility of $n + {}^8\text{Be}$ result with the data is very good, and is much better than the other cluster results.

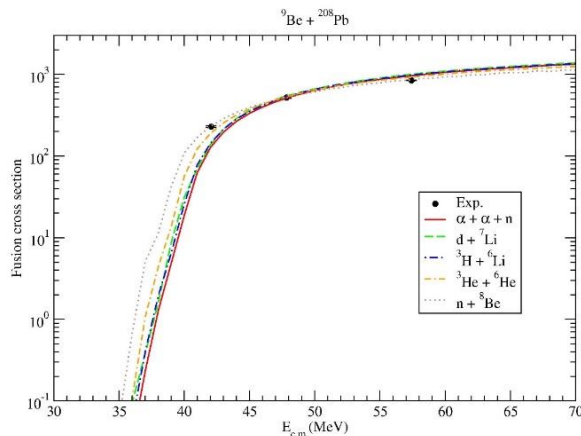


Figure 6. The same Figure 2, but for ${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$ fusion reaction. The data is from [25]

In the present study, we have also calculated the fusion barrier height (V_B) and barrier position

(R_B) for each reaction and each cluster case. They are known as basic parameters in defining nuclear fusion reactions. We have listed all the values of V_B and R_B in Table 3. We have obtained the highest R_B value and the lowest V_B value for $n + {}^8\text{Be}$ cluster case in all the reactions. In addition to this, we have found for $\alpha + \alpha + n$ cluster case the highest V_B value except for ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$ and ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$ reactions and the lowest R_B value in all the reactions. Thus, it can be said that the kinetic energy of the projectile for $n + {}^8\text{Be}$ cluster state can be less than the other cluster states.

Table 3. The fusion barrier heights (V_B) and positions (R_B) calculated based on the theoretical analysis of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^{64}\text{Zn}$, ${}^{144}\text{Sm}$, ${}^{186}\text{W}$ and ${}^{208}\text{Pb}$ fusion reactions for $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster cases

Reaction	Parameter	$\alpha + \alpha + n$	$d + {}^7\text{Li}$	${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$	${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$	$n + {}^8\text{Be}$
${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$	V_B (MeV)	8.67	8.86	8.76	8.40	8.24
	R_B (fm)	8.15	8.44	8.40	8.58	8.84
${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$	V_B (MeV)	17.05	17.17	17.07	16.55	16.20
	R_B (fm)	9.04	9.38	9.30	9.42	9.72
${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$	V_B (MeV)	31.66	31.59	31.52	30.80	30.15
	R_B (fm)	10.24	10.60	10.52	10.58	10.92
${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$	V_B (MeV)	35.92	35.83	35.76	35.01	34.30
	R_B (fm)	10.82	11.20	11.10	11.16	11.50
${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$	V_B (MeV)	38.98	38.86	38.82	38.09	37.31
	R_B (fm)	11.06	11.40	11.32	11.38	11.70

Conclusions

We have calculated the FCSs of ${}^9\text{Be} + {}^{28}\text{Si}$, ${}^9\text{Be} + {}^{64}\text{Zn}$, ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$, ${}^9\text{Be} + {}^{186}\text{W}$ and ${}^9\text{Be} + {}^{208}\text{Pb}$ reactions for the $\alpha + \alpha + n$, $d + {}^7\text{Li}$, ${}^3\text{H} + {}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He} + {}^6\text{He}$ and $n + {}^8\text{Be}$ cluster structures of ${}^9\text{Be}$. We have compared the theoretical results with the

experimental data. We have obtained agreement results with the data. We have also given the fusion barrier height and barrier position for each reaction and each cluster case.

Consequently, we have provided new results on various fusion reactions of ${}^9\text{Be}$ over a simple

cluster approach. We think that this approach will be useful to apply to other fusion reactions.

Acknowledgments -

Funding/Financial Disclosure The author has no received any financial support for the research, or publication of this study.

References

- [1] Urazbekov, B. A., Denikin, A. S., Lukyanov, S. M., Itaco, N., Janseitov, D. M., Mendibayev, K., Burjan, V., Kroha, V., Mrazek, J., Trzaska, W. H., Harakeh, M. N., Etasse, D., Stefan, I., Verney, D., Issatayev, T., Penionzhkevich, Yu E., Kuterbekov, K. A., & Zholdybaye, T. (2019). Clusterization and strong coupled-channels effects in deuteron interaction with ${}^9\text{Be}$ nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 46(10), 105-110. <https://doi.org/10.1088/1361-6471/ab37a6>
- [2] Lukyanov, S. M., Harakeh, M. N., Naumenko, M. A., Xu Yi, Trzaska, W. H., Burjan, V., Kroha, V., Mrazek, J., Glagole, V., Piskoř, Š., Voskoboynik, E. I., Khlebnikov, S. V., Penionzhkevich, YuE, Skobelev, N. K., Sobolev, G., Yu., Tyurin, G. P., Kuterbekov, K., & Tuleushev, Yu. (2015). Some insights into cluster structure of ${}^9\text{Be}$ from ${}^3\text{He} + {}^9\text{Be}$ reaction. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 5(4), 265-273. <https://doi.org/10.4236/wjnst.2015.54026>
- [3] Camacho, A. G., Gomes, P. R. S., Lubian, J., & Padrón, I. (2008). Simultaneous optical model analysis of elastic scattering, fusion, and breakup for the ${}^9\text{Be} + {}^{144}\text{Sm}$ system at near-barrier energies. *Physical Review C*, 77(5), Article 054606. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.77.054606>
- [4] Sert, Y., Yegin, R., & Doğan, H. (2015). A theoretical investigation of ${}^9\text{Be} + {}^{27}\text{Al}$ reaction: phenomenological and microscopic model approximation. *Indian Journal of Physics*, 89(10), 1093-1100. <https://doi.org/10.1007/s12648-015-0685-9>
- [5] Pandit, S. K., Jha, V., Mahata, K., Santra, S., Palshetkar, C. S., Ramachandran, K., Parkar, V. V., Shrivastava, A., Kumawat, H., Roy, B. J., Chatterjee, A., & Kailas, S. (2011). Investigation of cluster structure of ${}^9\text{Be}$ from high precision elastic scattering data. *Physical Review C*, 84(3), Article 031601. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.84.031601>
- [6] Aygün, M. (2017). A comparative analysis of the density distributions and the structure models of ${}^9\text{Li}$. *Pramana*, 88(3), Article 53. <https://doi.org/10.1007/s12043-016-1360-1>
- [7] Aygün, M., & Aygün, Z. (2017). A theoretical study on different cluster configurations of the ${}^9\text{Be}$ nucleus by using a simple cluster model. *Nuclear Science and Techniques*, 28(6), Article 86. <https://doi.org/10.1007/s41365-017-0239-2>
- [8] Aygün, M. (2016). A comprehensive study on the internal structure and the density distribution of ${}^{12}\text{Be}$. *Revista Mexicana de Física*, 62(4), 336-343. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57046490009>
- [9] Aygün, M. (2020). A comprehensive theoretical analysis of ${}^{12}\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$ elastic scattering measured for the first time by using different density distributions, different nuclear potentials and different cluster approaches. *Pramana*, 94(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12043-020-01979-w>

Ethics Committee Approval and Permissions -

Conflict of Interests -

Authors Contribution Author read and approved the final manuscript.

- [10] Aygun, M. (2020). A comprehensive theoretical analysis of ^{22}Ne nucleus by using different density distributions, different nuclear potentials and different cluster approach. *International Journal of Modern Physics E*, 29(01), Article 1950112. <https://doi.org/10.1142/S021830131950112X>
- [11] Kukulín, V. I., & Voronchev, V. T. (2010). Pinch-based thermonuclear D^3He fusion driven by a femtosecond laser. *Physics of Atomic Nuclei*, 73(8), 1376-1383. <https://doi.org/10.1134/S1063778810080107>
- [12] Seksembayev, Z., Kukulín, V., & Sakhiyev, S. (2018). Study of a dense hot plasma's burning in Z-pinch devices with inertial-magnetic confinement. *Physica Scripta*, 93(8), Article 085602. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/aacadf>
- [13] Satchler, G. R., & Love, W. G. (1979). Folding model potentials from realistic interactions for heavy-ion scattering. *Physics Reports*, 55(3), 183-254. [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(79\)90081-4](https://doi.org/10.1016/0370-1573(79)90081-4)
- [14] RIPL-3 (2021, May 23). Reference Input Parameter Library. <http://www-nds.iaea.org/RIPL-3>.
- [15] Capote, R., Herman, M., Obložinský, P., Young, P. G., Goriely, S., Belgya, T., Ignatyuk, A. V., Koning, A. J., Hilaire, S., Plujko, V. A., Avrigeanu, M., Bersillon, O., Chadwick, M. B., Fukahori, T., Ge, Z., Han, Y., Kailas, S., Kopecky, J., Maslov, V. M., Reffo, G., Sin, M., Soukhovitskii, E. Sh., & Talou, P. (2009). RIPL—reference input parameter library for calculation of nuclear reactions and nuclear data evaluations. *Nuclear Data Sheets*, 110(12), 3107-3214. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2009.10.004>
- [16] Farid, M. E. A., & Hassanain, M. A. (2000). Density-independent folding analysis of the ^6Li elastic scattering at intermediate energies. *Nuclear Physics A*, 678(1-2), 39-75. [https://doi.org/10.1016/S0375-9474\(00\)00313-4](https://doi.org/10.1016/S0375-9474(00)00313-4)
- [17] De Jager, C. W., De Vries, H., & De Vries, C. (1974). Nuclear charge-and magnetization-density-distribution parameters from elastic electron scattering. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 14(5-6), 479-508. [https://doi.org/10.1016/S0092-640X\(74\)80002-1](https://doi.org/10.1016/S0092-640X(74)80002-1)
- [18] Hossain, S., Abdullah, M. N. A., Rahman, M. Z., Basak, A. K., & Malik, F. B. (2013). Non-monotonic potentials for ^6Li elastic scattering at 88 MeV. *Physica Scripta*, 87(1), Article 015201. <https://doi.org/10.1088/0031-8949/87/01/015201>
- [19] Cook, J. (1982). DFPOT—a program for the calculation of double folded potentials. *Computer Physics Communications*, 25(2), 125-139.
- [20] Thompson, I. J. (1988). Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Computer Physics Reports*, 7(4), 167-212. [https://doi.org/10.1016/0167-7977\(88\)90005-6](https://doi.org/10.1016/0167-7977(88)90005-6)
- [21] Eck, J. S., Leigh, J. R., Ophel, T. R., & Clark, P. D. (1980). Total fusion cross section for the $^9\text{Be} + ^{28}\text{Si}$ system. *Physical Review C*, 21(6), Article 2352. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.21.2352>
- [22] Moraes, S. B., Gomes, P. R. S., Lubian, J., Alves, J. J. S., Anjos, R. M., SantAnna, M. M., Padrn, I., Muri, C., Liguori, Neto, R., & Added, N. (2000). Fusion and elastic scattering of $^9\text{Be} + ^{64}\text{Zn}$: a search of the breakup influence on these processes. *Physical Review C*, 61(6), Article 064608. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.61.064608>
- [23] Gomes, P. R. S., Padron, I., Crema, E., Capurro, O., Fernández, Niello, J. O., Arazi, A., Martí, G. V., Lubian, J., Trotta, M., Pacheco, A., Testoni, J. E., Rodríguez, M. D., Ortega, M. E., Chamon, L., Anjos, R.M., Veiga, R., Dasgupta, M., Hinde, D. J., & Hagino, K. (2006). Comprehensive study of reaction mechanisms for the $^9\text{Be} + ^{144}\text{Sm}$ system at near-and sub-barrier energies. *Physical Review C*, 73(6), Article 064606. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.73.064606>

[24] Kharab, R., & Kumari, A. (2019). Influence of projectile breakup on fusion reactions induced by ${}^9\text{Be}$ at near barrier energies. *Nuclear Physics A*, 981, 62-74. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2018.10.081>

[25] Dasgupta, M., Hinde, D. J., Sheehy, S. L., & Bouriquet, B. (2010). Suppression of fusion by breakup: Resolving the discrepancy between the reactions of ${}^9\text{Be}$ with ${}^{208}\text{Pb}$ and ${}^{209}\text{Bi}$. *Physical Review C*, 81(2), Article 024608. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.81.024608>



Elektrikli Araçlarda DA Hızlı Şarj Ünitelerinin Şebeke Altyapısına Etkilerinin İncelenmesi

Aykut Fatih GÜVEN¹ ve Salih Burak AKBAŞAK¹

How to cite: Güven, A. F., & Akbaşak, S. B. (2021). Elektrikli araçlarda DA hızlı şarj ünitelerinin şebeke altyapısına etkilerinin incelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 42-54. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.886985>

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Aykut Fatih GÜVEN
 afatih.guven@yalova.edu.tr

Yazarlara ait ORCID

A.F.G.: 0000-0002-1071-9700
 S.B.A.: 0000-0003-2299-2656

Received: 25.02.2021

Accepted: 19.03.2021

Öz

Ulaşım sektöründeki gelişmeler günden güne hızla artmaktadır. Bu sektördeki en büyük etki, elektrikli araçların hızlı gelişimi ve pazara uyum sağlamaya başlamasıdır. Bu etki, elektrikli araçların şebeke altyapısına olan entegrasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Elektrikli araçların şebeke altyapısında oluşturduğu etkiler, elektrik enerji talebinde sıkıntılar meydana getirmektedir. Bu çalışmada, elektrikli araçların şebeke altyapısına bağlantı noktası olan şarj ünitelerinin istasyonların simülasyonu sonucu analizler yapılmıştır. Ortaya çıkan bozucu etkilerin giderilerek daha iyi sonuç elde edilmesi için çözüm üretilmiş ve uygulanmıştır. Uygulanan çözüm öncesi ve sonrası etkiler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, DA (Doğru Akım) hızlı şarj ünitesi/istasyonu, şebeke etkisi

Investigation of the Effects of DC Fast Charging Units on Network Infrastructure in Electric Vehicles

¹Yalova Üniversitesi,
 Mühendislik Fakültesi, Enerji
 Sistemleri Mühendisliği, Yalova,
 Türkiye

Bu çalışma Creative Commons
 Attribution 4.0 International License
 ile lisanslanmıştır

Abstract

Developments in the transportation sector are increasing day by day. The biggest impact in this industry is the rapid development of electric vehicles and their adaptation to the market. This effect arises as a result of the integration of electric vehicles into the network infrastructure. The effects of electric vehicles on the network infrastructure cause problems in electricity energy demand. In this study, the simulations of charging units/stations, which are the connection point of electric vehicles to the network infrastructure, were analyzed. A solution has been produced and applied in order to obtain better results by eliminating the resulting disturbing effects. The effects before and after the applied solution were examined.

Keywords: Electric vehicles, DC (Direct Current) fast charging unit/station, grid effect

Giriş

Günümüzde enerjiye olan talebin artması ve buna bağlı olarak karbon emisyonunun fazla olmasından dolayı artan iklim değişiklikleri,

doğa üzerinden gerçekleşen olaylar hızla artmaya devam etmektedir. Enerji talebinin karşılanırken bu süreçte kullanılan enerji kaynaklarının çevreye verdiği zarar neticesinde

yenilenebilir enerji kaynakları olarak ifade edilen temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının devreye alınması gerekliliği de ciddiyetini ve önemini korumaktadır. Gelişen teknolojinin ve dolayısıyla enerji talebinin sürekli olan artışı temiz, sürdürülebilir, ekonomik yeni arayışlara yol açmıştır. Bu dönüşümün bir parçası olan yeni nesil elektrikli araçlar, günümüzde gerek üretimi gerekse kullanıcı tarafı için cezbedici bir hal almaya başlamıştır.

Elektrikli araçların üretim ve kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ile elektrik şebekesi üzerindeki etkilerinde artış gösterdiği görülmektedir. Elektrikli araçların kullanımı için gerekli olacak elektriğin sağlanması için ihtiyaç halinde kullanılacak şarj üniteleri (istasyonları) yaygınlaştırılması gerekmektedir. Günümüzdeki kullanımlarda, şebeke üzerindeki güç talebinin beklenen seviyede olması da istenmektedir. Elektrikli araç şarj ünitelerinin şebekeye bağlı olmasıyla elektrik son kullanıcılarının sisteminde olumsuz etkiler görülecektir.

Angelov ve ark. [1] çalışmalarında, elektrikli araç sahiplerinin hızlı bir şekilde şarj etmesini sağlamak için hızlı şarj istasyonu ağlarına ihtiyaç duyulacağından fişli elektrikli araçlar için bir şarj sistemi modeli geliştirmişlerdir.

Febriwijaya ve ark. [2] çalışmalarında DA Hızlı Şarj İstasyonunun IEEE 34 düğüm testi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Pil kapasitesi ve enerji gibi parametreler kullanarak, elektrikli araçlar için günlük seyahatte tüketime bağlı olduğunu gösteren

kullanıcı davranışı modeli simülasyon çalışması yapmışlardır.

Erhan ve ark. [3] çalışmalarında, elektrikli bir aracın şarj istasyonuna bağlı iken şebeke güç kalitesi üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir.

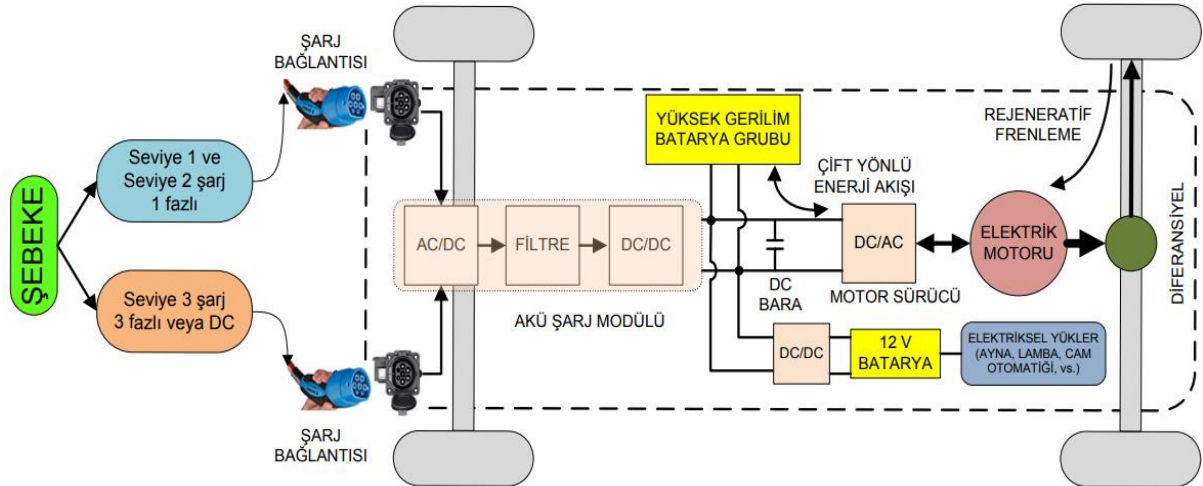
Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar, geleneksel içten yanmalı motor içeren araçların yapısına nazaran daha az parça ihtiva eden ulaşım aracıdır. İçten yanmalı araçlar içten yanmalı motor, egzoz sistemi ve aktarım organlarının olduğu sistem olmak üzere üç ana komponent üzerine kuruludur. Toplamda 1400 komponente sahiptir. Bu durumdan dolayı içten yanmalı motor içeren araçların komponentlerin fazla olması bakım ihtiyacının fazla ve sık olmasına sebep olmaktadır. Elektrikli araçlar ise, elektrikli motor, batarya paket ve güç elektroniği üzerine 3 ana komponent üzerine kuruludur. Ancak toplamda 200 komponent içermektedir. Daha az komponente sahip olması da daha az bakım ve sıklığının az olmasını sağlar.

Şekil 1’de elektrikli bir aracın temel yapısı yer almaktadır. Elektrikli bir araç daha detaylı incelendiğinde batarya paketi, DA/DA dönüştürücü, AA/DA dönüştürücü, DA/AA dönüştürücü, filtre, DA bara, elektrik motoru komponentlerden oluştuğu görülmektedir. Bu komponentler elektrikli aracın elektriksel güç aktarımları yapılırken belli sınırlarda gerçekleşmesini, gerekli ihtiyacı karşılaması üzerine kuruludur. Dönüştürücülerin ve filtrenin sistem içerisinde yer almasının sebebi

budur. Yüksek gerilim ihtiva eden batarya grubu şarj edilmeden önce dönüştürücü ve filtreden geçmektedir. Bunun sebebi, aracın AA (Alternatif Akım) ile beslenmesi durumunda bataryanın DA ile şarj olacağı için arada dönüştürücüye gerek duyulmasıdır. DA ile besleme durumunda ise, yine bir dönüştürücüye ihtiyaç olacağı da unutulmamalıdır. DA besleme yapılması durumunda bataryanın DA ile şarj olsa da gelen akım-gerilim değerlerinin belirlenen koşullarda olması gerekmektedir. Filtre ise, harmonik bozulmaları düzelterek aktarımın sinüzoidal formda iletilmesini sağlar. DA/AA dönüştürücüde çift yönlü akış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, bataryanın gerekli güç ihtiyacını karşılamak için besleme yapacak olmasıdır. Diğer taraftan bataryaya doğru bir enerji akışı da mevcuttur. Bunun kaynağı ise, rejeneratif frenlemenin

kullanılmasıdır. Rejeneratif frenlemede araç fren yaptığında elektrik motoru ters işleyiş ile çalışarak jeneratör görevi görecekler. Jeneratör görevi gören elektrik motoru enerji akışını bu sefer yüksek gerilim batarya grubuna ileticektir. Böylece batarya frenleme durumunda da belirli koşullar altında (örneğin Tesla Model S'in 60 kW güç aktarım sınırı gibi) bataryanın şarj olmasını sağlayacaktır. Yüksek gerilim batarya yanında alçak/düşük gerilim bataryanın yer almasının sebebi de araç içinde yüksek gerilim ihtiyacı doğmayan elektriksel yüklerin (araç içi aydınlatmalar, otomatik aynalar ve camlar gibi) karşılanmasını sağlamaktadır. DA bara ise, şarj ve deşarj durumlarında enerjinin ne yönde iletileceğine, komponentler arası enerji akışının gerçekleştirilmesinde köprü görevi görmektedir.



Şekil 1. Elektrikli aracın yapısı [3]

Tablo 1. Şarj tipleri ve özellikleri

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 3 (DA)
Gerilim Değeri	120- 220 VAA	208- 240 VAA	208- 240 VAA	600 VDA
Güç Seviyesi	1.2- 3.8 kW	3.8- 15 kW	> 15- 96 kW	> 15- 240 kW
Akım Değeri	15- 20 A	20- 80 A	> 85 A	
Şarj Süresi	5 - 12 saat	1 - 4 saat	15 - 30 dakika	

Elektrikli Araçların Şarj Yapısı

Elektrikli araçların Tablo 1’de yer alan çeşitli seviyelerde şarj etme koşulları mevcuttur. Elektrikli aracın batarya özelliklerine ve araç üzerinde yer alan komponentlere göre şarj tipi ve seviyesi seçilmektedir. Burada aracı AA ile mi yoksa DA ile mi şarj edeceğimize karar verirken nasıl bir süreç istendiği önemlidir. Araca ne kadar güç verilirse verilsin AA şarj işleminde, araç üzerinde yerleşik çevirici olacağı için çevirici, gelen AA gücü sınırlandıracaktır. Bu durum da şarj süresinin uzamasına dolayısıyla hızlı şarj edilmesi istenilen durumlarda DA kullanımını ön plana çıkaracaktır. Hızlı AA şarj olarak geçen ünitelerde de gerilim değeri yüksek ise akımın DA verilecek güce göre düşük olmasından dolayı şarj süresi DA şarj süresine göre çok uzun sürecektir. Bu da yerleşik çeviricilerde AA şarj süresinin uzun sürmesini açıklamaktadır. Bu duruma bakılarak istenilen şartlar belirlenmeli ve ona göre şarj gerçekleştirilmelidir. Tüm bu durumlardan yola çıkarak, elektrikli araçlar şarj edilirken DA ve AA akımlar arasında dönüşümler yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu dönüşümlerde bahsedildiği gibi yerleşik (araç içinde çevirici) ve yerleşik olmayan (araç içinde çevirici olmayan) şekilde iki ayırım vardır. Elektrikli araç AA ile şarj

edilirken yerleşik bir şarj işlemine gerek duyulmaktadır. Bunun sebebi, bataryanın DA ile şarj oluyor olmasıdır. AA ile yapılan şarjın bataryayı şarj etmesi için AA/DA çevirici içermesi gerekmektedir. DA ile şarjda buna ihtiyaç yoktur. Çünkü DA üniteler şebekeden aldığı AA gücü kendi içerisinde DA güce çevirerek üniteden direk DA güç çıkışı sağlamaktadır.

Şarj Modu-1: Evsel veya endüstriyel AA şarj modunu tanımlar. İzin verilen maksimum akım değeri 16 A’dır. Gerilim değeri tek fazda 230 V, üç fazda 400 V değerindedir. Aracın prize takıldıktan sonra elde edilebilecek şarj kapasitesi, aracın bataryasındaki akım değeri kadardır. Özel ekipmana gerek yoktur. İletişim ve güvenlik bağlantısı içermemektedir. Topraklama içermeyen prizlerde tehlike oluşturabilmektedir.

Şarj Modu-2: Mod-1’den farklı olarak kontrollü şarjı ifade eder. İzin verilen maksimum akım değeri 32 A’dır. Tek faz için 230 V, üç faz için 400 V gerilim değerlerine izin verilir. Taşınabilir bir AA besleme ekipmanı gereklidir. Çünkü sınırlı iletişim, güvenlik kontrolü kablo üzerinden sağlanmaktadır. Acil şarj görevi gibi düşünülmelidir. Güç çekilecek standart priz bağlantısıdır.

Şarj Modu-3: Burada bir AA bir güç kaynağı vardır ve özel belirlenmiş soket üzerinden tam kontrol sağlanarak şarj işlemi gerçekleştirilir. Hem elektrikli araç giriş tarafında hem de priz tarafında soket bulunmaktadır. Güç kaynağının olduğu kısım sabit şekilde (soketsiz) de olabilmektedir.

Şarj Modu-4: Kaynak kısmındaki bağlantı kalıcıdır. DA şarj işlemi için uygun olan modu tanımlar. DA hızlı şarj kısmı bu mod içerisine girmektedir. Kaynak sabit ve kaynak çıkışındaki soket ile şarj işlemi gerçekleştirilir.

Şarj ünitelerinde kullanılan soketler de şarj seviyeleri gibi farklı çeşitleri içermektedir. Bu çeşitlilik standartlara standartlarla belirlenmiştir. Bu standartlar;

AA (Yerleşik):

- a) Avrupa için; IEC 62196-2
- b) ABD için; SAE J1772

DA (Yerleşik olmayan):

- a) Uzakdoğu ve Japonya için; CHAdeMO
 - b) Avrupa için; CCS Combo, IEC62196-2
- AA, IEC 62196-2 (Avrupa):
- 230V(1faz) – 400V(3faz)
 - 16A/32A/64A
 - 3.7kW – 43kW
 - Şarj akımını sınırlama yeteneği
 - TİP 1 (SAE J1772), TİP 2 (MENNEKES), TİP 3 (SCAME)

AA, SAE J1772 (ABD):

- 120V (1faz) – 240V (2faz)
- 16A/32A
- Şarj akımını sınırlama yeteneği

Yaygın kullanılan şarj Yöntemlerinden biri olan MOD 4 – DA Hızlı Şarj İstasyonu 3 tip olarak hizmet verir. CHAdeMO – CCS COMBO ve Supercharger (Tesla) [4]

DA, CHAdeMO:

- 250V DA
- 200A'e kadar
- Şarj akımını sınırlama yeteneği

DA, CCS COMBO, IEC 62196-2:

- 400V DA
- 125A
- 50kW
- Şarj akımını sınırlama yeteneği
- TİP 4

Elektrik santrallerinin fosil kaynaklardan enerji üretimi devam ettiği ve buradan gelen enerji ile elektrikli araçları şarj ettiğimiz göz önünde bulundurulmalıdır. Günden güne artan elektrikli araç talepleri, içten yanmalı motor içeren araçların yerini almasıyla birlikte şebekenin daha fazla yüklenmesine sebep olacaktır. Şebekenin fazla yüklenmesi, iletimden dağıtım kadar birçok noktaya etki edecektir. Bu durum dolaylı yoldan talebin artışına ve arzın düşüşüne sebebiyet vereceği için elektrik kesintileri, iletim-dağıtım hatlarındaki ekipmanların etkilenmesi, zarar görmesine sebep olabilir. Elektrik iletim-dağıtım hattında değerlerin optimum seviyede kalması, sistemlerin optimum seviyede çalışması, şebekeden çekilecek enerjinin, gücün kalitesi için arz-talep dengesini koruyacak şekilde önlemler alınması gerekmektedir. Hat değerlerinde ve şebekeden gelecek değerlerde

uygun koşullar için mevcut sistemlerimizin optimizasyon çalışmaları önem kazanmaktadır.

Enerji Kalitesi ve Önemi

Günümüzde elektrik enerjisi kaynaklarının azalması ve enerji fiyatlarının sürekli artması elektrik enerjisinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bunun bir sonucu olarak şebekeden sağlanan elektrik enerjisi bilgisayar, faks makinesi, fotokopi makinesi gibi birçok yüke güç elektroniği (güç konverterleri) devre elemanları vasıtasıyla yükün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde (istenilen gerilimi, frekans ve akım değerlerine) dönüştürülmektedir. Günümüz yük tiplerinin birçoğunun mikroişlemci tabanlı olduğu görülmektedir. Mikroişlemci tabanlı yüklerin hem çok kaliteli bir enerjiyle beslenmesi ve hem de aynı zamanda (kullandıkları anahtarlamalı konverterlerden dolayı) güç kalitesi problemlerinin kaynağını oluşturmaması beklenmektedir. Bu tür yükler genelde nonlinear yükler veya devre elemanları olarak tanımlanırlar. Doğrusal olmayan yüklerin geniş bir şekilde kullanılması, elektrik güç sistemlerinde güç kalitesi problemine özellikle harmonik kirliliğine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak tüketiciye verilen enerjinin kalitesi önemli ölçüde olumsuz olarak etkilenmektedir.

Güç kalitesi problemlerinin tespit edilmesi, sebeplerinin belirlenmesi ve muhtemel sonuçlarının ortaya çıkarılması ve analiz çalışmaları için elektrik enerjisinin üretim noktasından tüketim noktasına kadar üzerinde önemle durulması gerekmektedir.

Harmonikler güç kalitesinin en önemli ölçülebilir parametrelerinden biridir. Harmonikler, genel olarak nonlinear elemanlar ile nonsinüsoidal kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin sistemde bulunmasından meydana gelirler. Akım-gerilim karakteristiği doğrusal olmayan elemanlara nonlinear elemanlar denir. Sistemde bulunan bu elemanların etkisiyle akım ve gerilim dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte temel sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından meydana gelmektedir. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik” adı verilir.

Güç sistemindeki sinüsoidal dalganın simetrisinden dolayı 3., 5., 7., 11. gibi tek harmonik bileşenleri bulunur. Çift harmonikli bileşenler bulunmaz.

Enerji kalitesinin ölçülebilmesi ve bozulmaların sınırlandırılabilmesi için akım ve gerilim harmoniklerinin tanımlanması gerekmektedir.

Toplam harmonik distorsiyonu (THD), harmonikli bileşenlerin efektif (rms) değerlerinin, temel bileşen efektif (rms) değerine bölünmesiyle elde edilir ve genellikle yüzde olarak gösterilir. Toplam harmonik distorsiyon ifadesinin yardımı ile temel sinüs bileşenimizin harmonik bileşenlerin toplanması ile ilk formundan ne derece sapmaya maruz kalacağı görülebilir.

Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüsoidal dalga için THD değeri sıfırdır. Yani denklem (1) ve denklem (2)'den de anlaşılacağı gibi harmonik bileşenlerin olmadığı sistemlerde

toplam harmonik distorsiyon herhangi bir değere ulaşmayacaktır. Gerilim için toplam harmonik distorsiyonu denklem (1)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{THD}_V &= U_{\text{THD}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \\ &= \frac{\sqrt{V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n}}{V_1} \end{aligned} \quad (1)$$

Burada;

THD_V : Gerilimin toplam harmonik distorsiyonunu (bozunumu),

V_n : Devreye uygulanan gerilimin n'inci mertebedeki harmoniğinin etkin değerini,

V_1 : Devreye uygulanan gerilimin temel frekanstaki etkin değerini,

Akım için toplam harmonik distorsiyonu denklem (2)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{THD}_I &= I_{\text{THD}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \\ &= \frac{\sqrt{I_2 + I_3 + I_4 + \dots + I_n}}{I_1} \end{aligned} \quad (2)$$

THD_I : Akımın toplam harmonik distorsiyonunu (bozunumu),

I_n : Devreden geçen akımın n'inci mertebedeki harmoniğinin etkin değerini,

I_1 : Devreden geçen akımın temel frekanstaki etkin değerini ifade etmektedir,

Ülkemizde ideal enerji dağıtımı 50 Hz. de, temel frekansta ve sinüsoidal dalga şeklindedir. Ancak işletmelerimizdeki bazı yükler sahip oldukları çalışma karakteristiklerinden dolayı çeşitli frekans seviyelerinde akım ve gerilim

oluştururlar. Bu gibi devrelerde faz gerilimlerinin dengeli olması ve gerilimdeki harmonik miktarının belirli değerlerde kalması gibi birtakım kriterlerin göz önüne alınması gerekir.

Şebeke güç kalitesini en çok etkileyen durumlardan bir tanesi olan harmonikler, sistem üzerinde olumlu etkilere yol açmazlar. Elektronik komponent kullanımlarının artması bunun en büyük sebeplerinden biridir. Bu çalışmada elektrikli araçların şarj ünitelerinin sebep olduğu harmoniklerin şebeke güç kalitesini etkileri incelenmiştir.

Dağıtım altyapısındaki maksimum kapasitede çalıştırıldığı durumda güç sistemlerinin güvenilirliğini etkilemektedir. Ayrıca elektrikli araçların şarj sırasında dağıtım transformatörleri üzerinde ısınma etkisi yapacağı ve harmoniklerden kaynaklanan bu ısınmalar ek güç kayıplarına sebep olacaktır. Elektrikli araç pazarının zamanla artması, mevcut şebeke hatları üzerine ani yüklenmeler, aynı anda sistemin kaldırabileceğinden fazla elektrikli aracın şebekeye bağlanması talebin karşılanamamasına sebep olabilmektedir. Özellikle yüksek ve ani talebe cevap verebilmek için elektrik ihtiyacının düşük olduğu zaman dilimi olan gece saatlerinde şarj işleminin gerçekleştirilmesi sisteme olan fazla yüklenmeleri azaltacaktır. Kontrolsüz şarj işlemi durumunda, özellikle şarj işleminin yoğun olmadığı zamanlarda yapılmaması durumunda yük talebinde büyük bir artışa sebep olur. Bu durum güç sisteminin dengesini de etkileyecektir. Şebeke hattının bir bütün olarak

çalıştığı göz aradı edilmemelidir. Sistemin bir noktasındaki etki, diğer bir noktasında farklı bir etkiye sebep olacaktır [4].

Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, elektrikli araçların yük talebinin yoğun olmadığı zaman şarj edilmesi, şarj işlemini yapacak enerji üretim kaynaklarının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, akıllı şebeke kullanımı ile elektrikli araçların şebeke üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmaya çalışılabilir. Özellikle talebin az olduğu zamanlarda şarj işlemini yapıp, talebin çok yüksek olduğu zamanlarda araçtan şebekeye güç sağlanması (V2G) durumlarını da devreye sokmak şebeke üzerindeki yüksek talep yükünü düşürecektir.

Böylelikle hem şebeke üzerindeki etkiler azaltılmış olacak hem de V2G sistemi kullanarak ekonomik açıdan fayda sağlanmış olacaktır. Yük talebinin arttığı zamanlarda şebekeyi besleme durumunda elektrikli araç kullanım oranını artıracığı, akıllı şebekelerin de önünü açan bir sistemin parçası olacağı unutulmamalıdır.

Bu çalışmada, elektrikli araç şarj ünitelerine bağlı araçların şarj ünitesine bağlanması ve şarj işlemine başlaması ile şebeke üzerinde oluşturacağı etkileri incelemek üzere bir Matlab simülasyon çalışması yapılmıştır.

Materyal ve Metot

Matlab simulink ortamında şebeke parametreleride dikkate alınarak filtreli ve filtresiz DA hızlı şarj ünite modelleri oluşturulmuştur. Burada DA hızlı şarj ünitesi 2

girişli DA soket bağlantısı içermektedir. Bu şarj ünitesi aynı anda en fazla 2 elektrikli aracın şarj olmasını sağlamaktadır. Filtresiz uygulanmış model Şekil 2’de yer almaktadır.

Şarj ünitesinin modellenmesinde şebeke altyapısındaki hattın simülasyonu da entegre edilerek Simulink dosyası bir bütün halinde sunulmuştur.

Batarya, trafo öncesi ve sonrası hat üzerinde yer alan V-I ölçücü, switch osiloskop görüntüleri akım, gerilim ve SOC değerleriyle Şekil 2’de modellenmiştir.

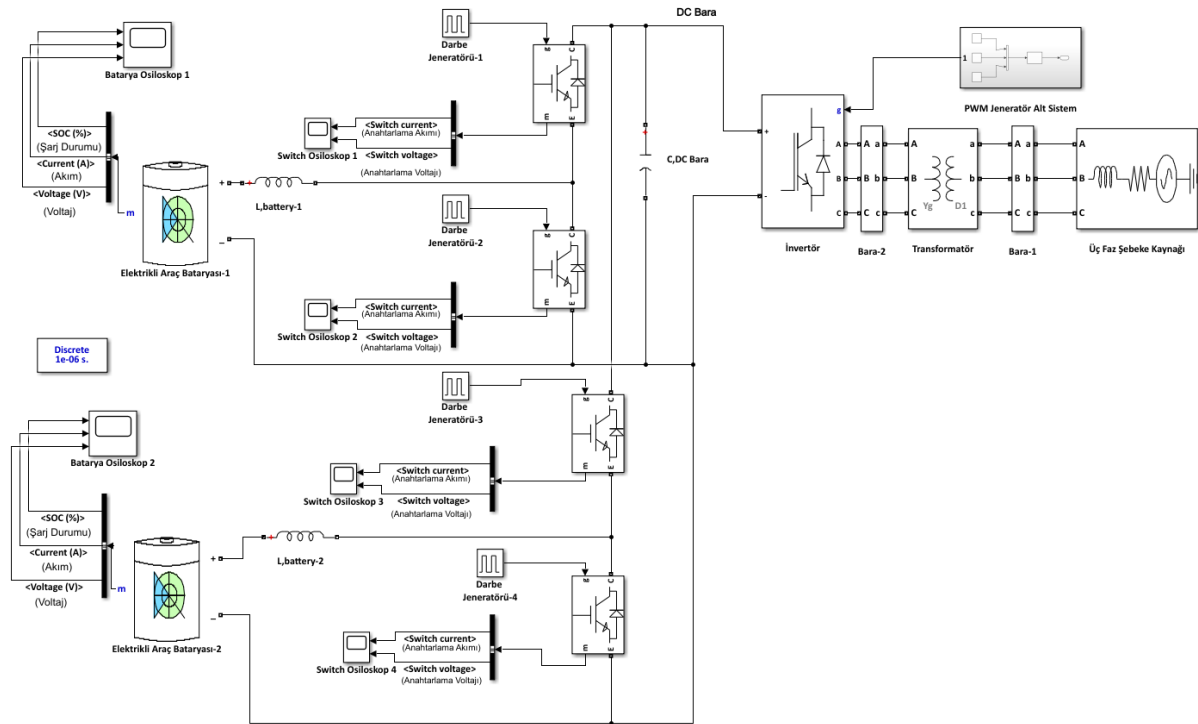
Filtre uygulanmış model Şekil 3’te yer almaktadır.

Tablo 2’ de DA hızlı şarj ünite simülasyonun filtresiz ve filtreli durumlardaki THD değerleri yer almaktadır.

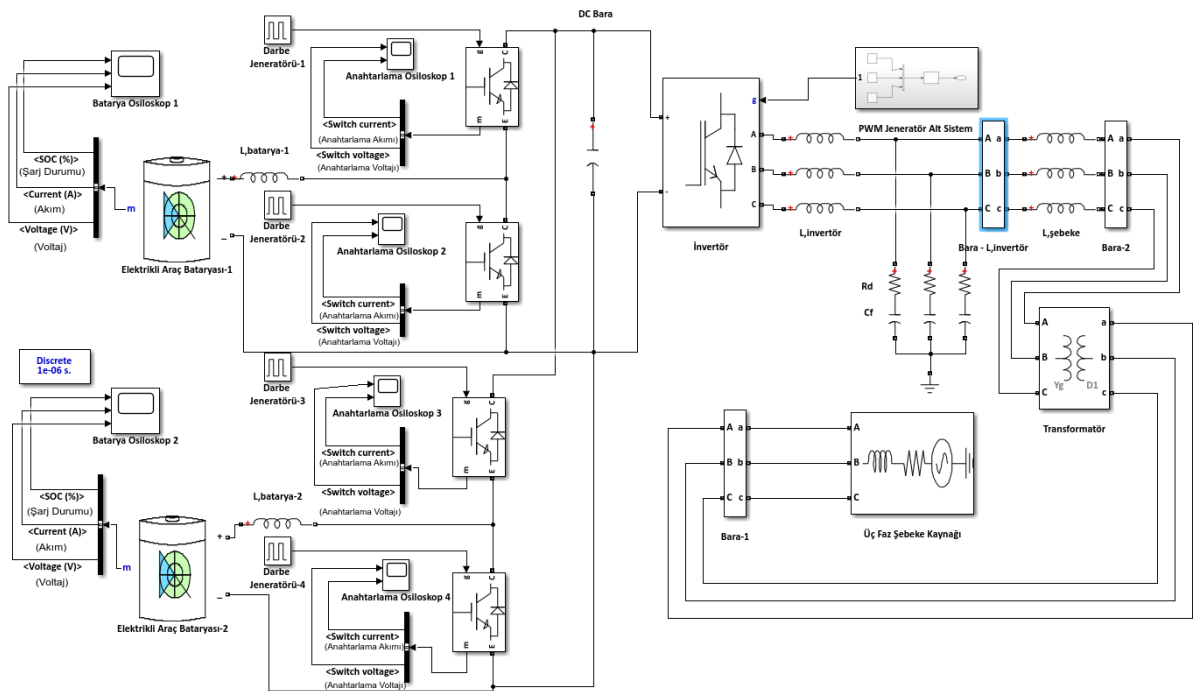
Sistemde 4 adet switch bulunmaktadır. 1 ve 3, 2 ve 4 numaralı switch osiloskopları aynı değerleri gösterdiği için sadece 1 ve 2 numaralı switch osiloskopları gösterilmiştir. Aynı zamanda sistemde 2 adet batarya bulunmaktadır. Bu bataryalar, şarj ünitesine bağlanabilecek en fazla 2 adet elektrikli araç olduğu için 2 adet batarya elektrikli aracın bataryasını temsilen modellemede yer verilmiştir. Her batarya aynı değer üzerinden enerji çekmektedir. Bundan dolayı sadece tek bataryanın osiloskop görüntüsü gösterilmiştir. Buna ek olarak, dalga formunda oluşan Toplam Harmonik Distorsiyon (THD) yani Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) analizinin yapılması sonucu daha net bir şekilde gösterilmiştir. FFT analizi yapılırken, akım, gerilim, SOC (State Of

Charge) üzerindeki harmonikler ayrı ayrı incelenmiştir. FFT analizde maksimum frekans değeri 1000 Hz, sistemin çalışma frekansı 50 Hz. olarak baz alınmıştır. Simülasyon 0.1

saneyelik zaman diliminde, powergui kullanılarak kesintili simülasyon yapılarak örnekleme zamanı 1×10^{-6} saniye alınarak THD ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2. DA hızlı şarj ünitesinin (filtresiz) simulink modeli



Şekil 3. DA hızlı şarj ünitesinin (LCL filtrelili) simulink modeli

Tablo 2. DA hızlı şarj ünite simülasyonun filtresiz ve filtreli durumlardaki THD değerleri

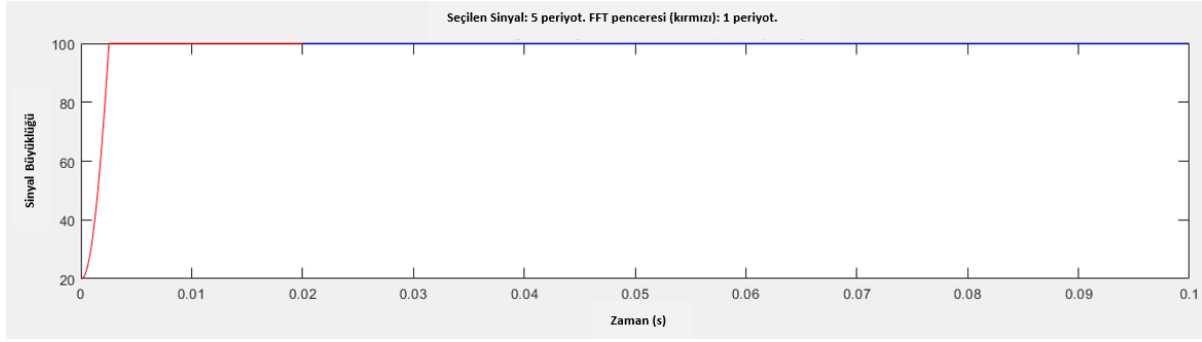
Toplam Harmonik Distorsiyon THD (%) -50 Hz	Filtresiz	Filtreli
Batarya-SOC	184.69	58
Batarya-Akım	32.04	13.85
Batarya-Gerilim	32.04	13.88
Switch-1 Akım	31.54	13.72
Switch-1 Gerilim	33.67	13.91
Switch-2 Akım	31.51	13.72
Switch-2 Gerilim	31.51	13.72

Osiloskop bağlanan komponentlerin akım ve gerilim değerleri incelendiğinde sinüzoidal dalga formundan uzak bozulmalar tespit edilmiştir. Bu dalga formunun bozucu etkilerinin harmonik etkilerden kaynaklandığı bilinmektedir. Harmonikler, elektrik sistemlerindeki bozucu etkilerdir. Bu bozucu etkiler, sistemin efektif çalışması için gerekli olan tam dalga sinüs formunun bozulması anlamına gelir [5]. Bu bozucu etkilerin sebebi ise, güç elektroniği elemanlarının yani yarı iletken ve mikroişlemci elemanlarının oluşturduğu yükler elektrik sistemlerindeki komponentlerin üzerinde bozucu etkiler oluşturmasıdır. Bu bozucu etkileri azaltmak için çeşitli yöntemler sistem üzerinde uygulanmaktadır. DA hızlı şarj ünitesi için bu modelde tercih edilen filtre LCL (Endüktans-Kondansatör-Endüktans) filtre şeklindedir.

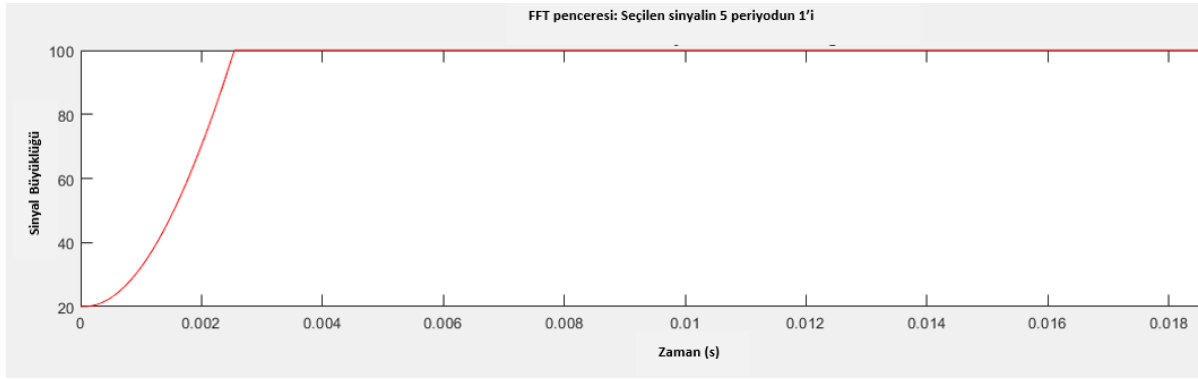
Sistem harmoniklerini azaltmak için pasif filtre tercih edilmiştir. LCL filtre, sistemin filtre öncesi etkilerine göre daha iyi çalışmasına yardımcı olmaktadır.

Harmonik bozucu etkisinin dalga formundaki bozulmaya ve bu bozucu etkinin LCL filtre kullanılarak THD değerinin nasıl düşürüldüğü sistem üzerinden örnek verilerek Şekil 3'te gösterilmiştir. Sinyal formu, harmonik bozulmaya uğrayan sinyal ve THD değeri batarya SOC değeri üzerinde örnek verilerek Şekil 4-Şekil 8'de gösterilmiştir.

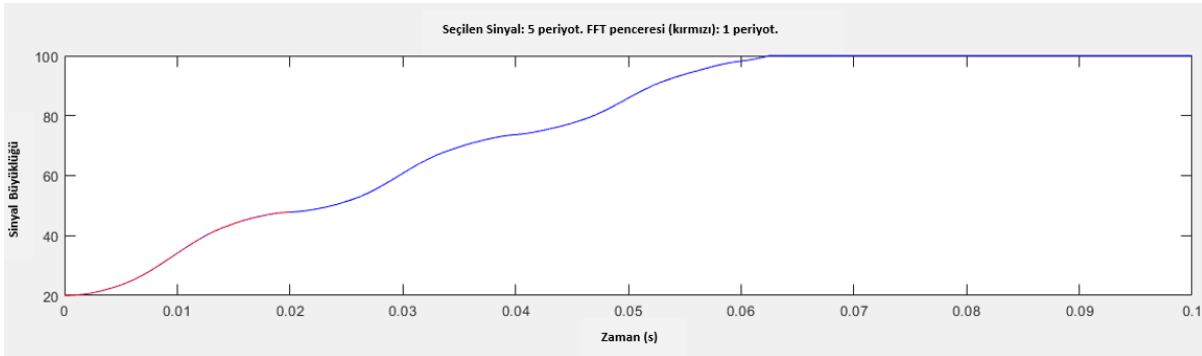
Tablo 3'te filtresiz ve filtreli sistem için 1. harmonik ile 19.harmonik bileşenlerine ait THD değerleri yer almaktadır. THD değerinde filtreleme öncesi ile filtreleme sonrası farklılıklar görülmektedir.



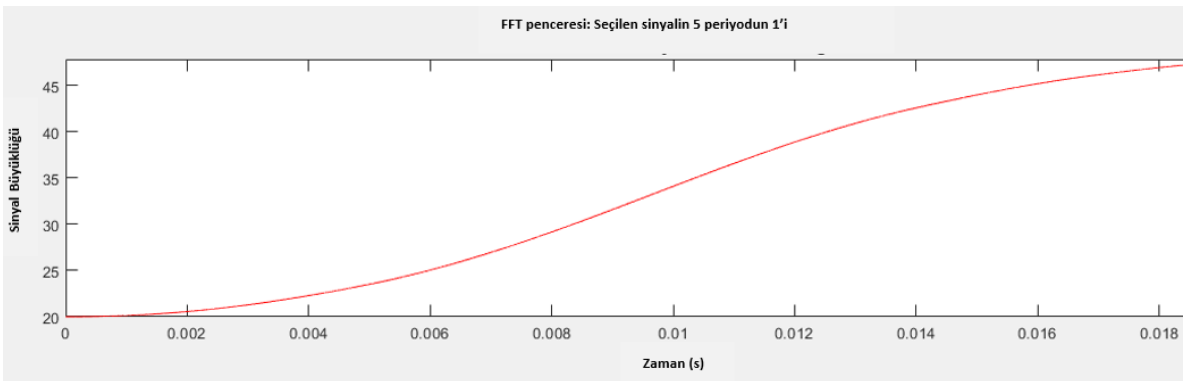
Şekil 4. Filtresiz sistemde batarya SOC gerilim sinyali



Şekil 5. Filtresiz sistemde batarya SOC harmonik sinyali



Şekil 6. Filtreli sistemde batarya SOC sinyali



Şekil 7. Filtreli sistemde batarya SOC harmonik sinyali

Tablo 3. Filtresiz-filtreli sistem batarya SOC, THD (%) değeri

Frekans	Harmonik Bileşen	THD (%) Filtresiz	THD (%) Filtreli
0 Hz	(DA):	703.90	277.11
50 Hz	(Temel):	100.00	100.00
100 Hz	(h2):	94.46	36.02
150 Hz	(h3):	85.73	24.96
200 Hz	(h4):	74.50	18.48
250 Hz	(h5):	61.70	14.58
300 Hz	(h6):	48.36	12.17
350 Hz	(h7):	35.64	10.44
400 Hz	(h8):	24.88	9.09
450 Hz	(h9):	17.72	8.07
500 Hz	(h10):	15.39	7.26
550 Hz	(h11):	16.25	6.60
600 Hz	(h12):	17.41	6.05
650 Hz	(h13):	17.47	5.59
700 Hz	(h14):	16.26	5.19
750 Hz	(h15):	14.15	4.83
800 Hz	(h16):	11.83	4.53
850 Hz	(h17):	10.08	4.27
900 Hz	(h18):	9.43	4.03
950 Hz	(h19):	9.67	3.82

Şekil 3'te görülen simülasyonda harmonik bozucu etkilerin azaltılması için LCL filtre uygulaması yapılmıştır. LCL filtre gibi filtreler harmonik bozucu etkileri mümkün olduğunca sönmülemektedir. Gerçekleştirilen simülasyon sonucunda görüldüğü gibi filtrelerin devredeki görevleri bozucu etkileri sönmülemektir.

Tartışma ve Sonuç

Yapılan analizler sonucunda THD değerlerinin LCL filtre uygulaması sonrasında düşüşe geçtiği ve batarya SOC değerindeki THD değerinin yüksek çıktığı (%58) görülmektedir. LCL filtre uygulaması oransal olarak %30'dan fazla harmonik düşüşünde yardımcı olmuştur. Diğer taraftan batarya ve switchlerin akım, gerilim harmonik değerlerinde ise %42 oranında düşüş gözlemlenmiştir.

Sistemin daha efektif sonuçlar vermesi için inverter ve batarya denetleyicilerinin de sisteme entegre edilmesi gerekmektedir. İnverter ve batarya denetleyicilerinin sisteme dahil edilmesi, sistemdeki akım ve gerilim düzeylerini kontrol ederek tüm sistemin daha optimum çalışmasına yardımcı olacaktır. Özellikle DA hızlı şarj ünitelerinin yüksek akım ve gerilim değerlerinde güç sağladıkları için sistemde arz-talep dengesi unsurlarına bağlı olarak dengesizlikler, sistemin yeterli cevabı verememesi gibi durumlar yaşanabilmektedir. Hangi araca ne kadar sürede ne kadar güç aktarılacağı ve bunun sistemde nasıl bir etki uyandıracacağı da önem arz etmektedir. Tüm bu süreçler denetleyiciler ile kontrol altında tutulabilmektedir.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri Yazarlar bu çalışmanın araştırması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir mali destek almamışlardır.

Etik Kurul Onayı ve İzinler -

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazarların Katkısı Tüm yazarlar, bu çalışmanın planlanmasına, yürütülmesine veya analizine yazar olarak dahil edilmek üzere yeterince katkıda bulunmuştur. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

- [1] Angelov, G., Andreev, M., & Hinov, N. (2018, May 16-20). *Modelling of electric vehicle charging station for DC fast charging*. [Conference presentation]. 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). Zlatibor, Serbia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8443663>
- [2] Febriwijaya, Y. H., Purwadi, A., Rizqiawan, A., & Heryana, N. (2014, Nov 24-25). *A study on the impacts of DC fast charging stations on power distribution system*. [Conference presentation]. International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS). Bali, Indonesia. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7045233>
- [3] Erhan, K., Ayaz M., & Özdemir, E. (2013, Nisan 26-27). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Kalitesi Üzerine Etkileri* [Konferans sunumu]. Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, Ankara, Türkiye. <https://akillisebekeler.emo.org.tr>
- [4] Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S., & Tan, C. W. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, Article 109618. <https://doi:10.1016/j.rser.2019.109618>
- [5] Güven, A., & Yörükeren, N. (2019). Yalova Üniversitesi Merkez Kampüsünde elektrik enerji kalitesini etkileyen harmoniklerin incelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 123-143. <https://doi:10.31466/kfbd.556101>



Bakır(II)-Nikotinamid İçeren Yeni Kompleksin Yapısal ve Spektroskopik Özellikler Açısından İncelenmesi

Tuğba AYCAN¹

How to cite: Aycan, T. (2021). Bakır(II)-Nikotinamid içeren yeni kompleksin yapısal ve spektroskopik özellikler açısından incelenmesi *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 55-65. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.719915>

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar
Tuğba AYCAN
tuğba.aycan84@gmail.com

Yazara ait ORCID
T.A.: 0000-0002-5313-7807

Received: 13.04.2020
Accepted: 18.12.2020

Öz

Bu çalışma $[Cu(na)_2(H_2O)_4]^{2+} \cdot [Cu(H_2O)_6]^{2+} \cdot [(SO_4)_2]^{4-} \cdot (H_2O)_2$ (na=nikotinamid) kompleksinin supramoleküler mimarisine odaklanmıştır. Kompleksin yapısal özellikleri, XRD, spektroskopik yöntemler, termogravimetrik ve elementel analiz ile tanımlanmıştır. Kompleksin monoklinik kristal sisteminde $P2_1/c$ uzay grubunda kristallendiği görülmüştür. Kompleks içinde iki Cu(II) metali vardır ve her ikisi de az bozulmuş oktahedral çevreye sahiptir. Cu(II) iyonlarından birisi su moleküllerinin oksijen atomlarıyla koordine iken diğeri na ligandının iki azot atomu ve su moleküllerinin oksijen atomlarıyla koordine. Kristal yapıda, su ve kristal örgü su moleküllerinden dolayı çok fazla hidrojen bağı vardır. Kompleks hidrojen bağları ile supramoleküler yapıyı meydana getirmiştir. Kompleksin IR spektroskopik çalışmaları, esas olarak nikotinamidin karakteristik titreşimlerine odaklanarak orta IR bölgesi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tek kristal XRD, IR spektroskopisi, UV-Vis. spektroskopisi, termal analiz

Investigation of the Novel Complex with Copper(II)-Nicotinamide in Terms of Structural and Spectroscopic Properties

¹Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat
Fakültesi, Fizik Bölümü, Sinop,
Türkiye

Abstract

$[Cu(na)_2(H_2O)_4]^{2+} \cdot [Cu(H_2O)_6]^{2+} \cdot [(SO_4)_2]^{4-} \cdot (H_2O)_2$ (na=nicotinamide), was investigated by focusing on its supramolecular architecture. Structural properties of the complex were characterized by XRD, spectroscopic methods, thermogravimetric and elemental analysis. Further ultra-violet (UV)-visible spectral analysis and Thermogravimetric analysis were performed to understand optical and thermal properties. It has been observed that complex has crystallized in the monoclinic crystal system in $P2_1/c$ space group. The complex has two Cu(II) metals; one is coordinated with the oxygen atoms of six aqua while the other is coordinated through two nitrogen atoms of the na and the oxygen atoms from four aqua. Both Cu(II) ions have slightly distorted octahedral environments. There are a lot of hydrogen bonds due to aqua and water molecules. The complex is connected by hydrogen bonds to form a supramolecular structure. The IR spectroscopic study of the complex was carried out within the middle IR region, substantially focusing on the characteristic vibrations of nicotinamide.

Bu çalışma Creative Commons
Attribution 4.0 International License
ile lisanslanmıştır

Keywords: Single Crystal XRD, IR spectroscopy, UV-Vis. spectroscopy, thermal analysis

Giriş

Nikotinamid, niyasin olarak bilinen nikotinik asidin amitidir ve suda çözünen bir vitamindir. Nikotinamid ve nikotinik asit aynı vitamin fonksiyonlarına sahip olmasına rağmen, farmakolojik ve toksik etkileri farklıdır [1]. Nikotinamid ligandı canlı hücrelerin metabolizmasında önemli bir rol oynar. Literatür araştırmaları Bakır(II) iyonunun aktivitesinin biyolojik olarak aktif ligandların ilavesiyle arttığını göstermektedir [2]. Nikotinamidin metal komplekslerinden bazıları antibakteriyel ve insülin-mimetik ajanlar olarak biyolojik olarak aktiftir [3-5].

Metal sülfatların kimyası, ilginç yapısal özellikleri, potansiyel uygulamaları, ferroelastik ve ferroelektrik özellikleri nedeniyle son yıllarda dikkat çekmiştir [6]. Metal sülfatların boyutları monomerlerden 3D polimerlere kadar değişir, hidrojen bağlarının yanı sıra su molekülleri kompleksin boyutunun artmasına katkıda bulunur [7]. Ayrıca, koordinasyon eğilimi olan organik moleküllerin supramoleküler özelliklere sahip kristal katıların elde edilmesinde etkin rol oynadığı bilinmektedir [8].

Bu çalışmada nikotinamid, B3 vitamini ailesinden seçilmiştir. Daha önceki çalışmada Co(II) ve Zn(II) komplekslerinin benzer çalışması yapılmıştır [9]. $[\text{Cu}(\text{na})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} \cdot [\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} \cdot [(\text{SO}_4)_2]^{4-} \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$ kompleksi sentezlenmiştir. Hidrojen bağları ile bileşiğin supramoleküler yapısı araştırılmıştır. Bu amaçla, kompleksin yapısal özellikleri X-ışını kırınımı (XRD) tekniği, elementel analiz

ve FT-IR spektroskopisi ile karakterize edilmiştir. Ek olarak, optik ve termal özellikleri UV-Vis spektroskopisi ve termogravimetrik analiz ile belirlenmiştir.

Materyal ve Metot

Sentez

Nikotinamidin sulu çözeltisi (1 mmol, 0.12 g), Bakır(II) sülfat penta-hidratın (1 mmol, 0.25 g) sulu çözeltisine yavaş yavaş ilave edilmiştir ve karıştırılmıştır. Mavi karışım süzölmüştür ve kristalizasyon için bırakılmıştır. Filtrelenen ve oda sıcaklığında kristalleşmeye bırakılan çözeltiden, iki hafta sonra mavi tek kristaller elde edilmiştir. MW:779.64 g/mol, Verim: %70.8, Element Analiz; Hesaplanan: $\text{C}_{12}\text{H}_{36}\text{N}_4\text{O}_{22}\text{S}_2\text{Cu}_2$ (%): C, 19.5; H, 4.9; N, 7.6; Bulunan. C, 19.1; H, 4.6; N, 7.3.

Fiziksel Ölçümler

Tüm kimyasal malzemeler ticari şirketlerden satın alınmış ve daha fazla saflaştırılmadan kullanılmıştır. FT-IR spektrumları, orta IR bölgesinde ($4000-400 \text{ cm}^{-1}$), ATR yöntemiyle bir Bruker Tensor 27 FT-IR spektrometresinde kaydedilmiştir. Spektrumlar Bruker OPUS yazılımı kullanılarak geçirgenliğe dönüştürülmüştür. Element analizleri (C, H, N) ODTÜ Merkez Laboratuvarında bir LECO CHNS-932 elementel analiz cihazı ile yapılmıştır. Aynı anda TG, DTG ve DTA eğrileri, OMU-KITAM laboratuvarında TA DMAQ800 termal analizörü kullanılarak platin patlarda 10 K/dak ısıtma hızında 20-1000 °C sıcaklık aralığında azot atmosferinde elde edilmiştir. Kompleksin UV-Vis. spektrumu, oda sıcaklığında, 190 ila 1100 nm arasında

çalışan bir Unicam UV-Vis. spektrofotometresinde su çözeltisi içinde kaydedilmiştir. Kompleksin absorpsiyon spektrumu VISIONcollect yazılımı kullanılarak çizilmiştir. XRD verileri, grafit monokromatik MoK_α radyasyonu ile 296 K'de bir Stoe IPDS difraktometresi kullanılarak toplanmıştır ($\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$). Kristal yapı, doğrudan yöntemlerle analiz edilmiştir ve hidrojen olmayan tüm atomlar, SHELX97 programı kullanılarak tam matris en küçük kareler yöntemleriyle anizotropik olarak artırılmıştır [10]. Moleküler çizimler ve diğer bilgiler için WinGX [11], ORTEP-3 [12] ve MERCURY [13] yazılımları kullanılmıştır. Kompleks için kristal verileri ve artırım parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

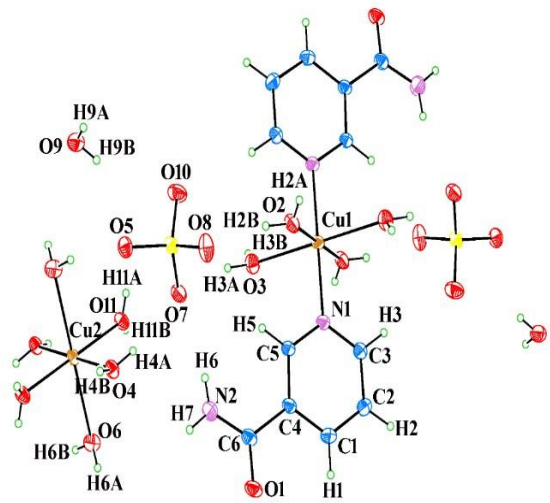
Tablo 1. Kompleksin kristal artırım verileri

	Kompleks
Formül	$\text{C}_6\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_{11}\text{SCu}$
Ağırlık	389.82
Sıcaklık(K)	296
Radyasyon, $\lambda(\text{MoK}_\alpha)\text{\AA}$	0.71069
Kristal sistem	Monoklinik
Uzay grubu	$P2_1/c$
Birim hücre boyutları	
$a, b, c(\text{\AA})$	14.207 (5), 7.678 (5),
$\alpha, \beta, \gamma (^\circ)$	15.251 (5)
Hacim (\AA^3)	90, 117.678 (5), 90
Z	4
Hesaplanan yoğunluk (Mg.m^{-3})	1.758
$\mu(\text{mm}^{-1})$	1.68
$F(000)$	804
Kristal boyutu (mm)	$0.69 \times 0.42 \times 0.15$
θ aralığı ($^\circ$)	1.5- 27.9
İndeks aralığı	$-18 \leq h \leq 18$ $-9 \leq k \leq 9$ $-19 \leq l \leq 19$
Ölçülen yansımalar	22986
Bağımsız yansımalar	3314
Gözlenen yansımalar [$I \geq 2\sigma(I)$]	2372
Absorpsiyon düzeltmesi	integrasyon
Artırım metodu	Tam matris en küçük kareler de F^2
Veri/Kısıtlamalar/Parametreler	3314/0/249
S	0.93
Son R indeksi [$I \geq 2\sigma(I)$]	$R_1 = 0.042$; $wR_2 = 0.121$
R indisleri (tüm veri)	0.085
$\Delta\rho_{\text{maks}}; \Delta\rho_{\text{min}}$ ($\text{e}\text{\AA}^{-3}$)	0.73; -0.52

Tartışma

Kompleksin Kristal ve Moleküler Yapısı

Şekil 1'de gösterildiği gibi, kompleks iki bakır iyonuna sahip bir monomerdir. Cu1 iyonu, iki nikotinaminin piridin halkasındaki azot atomu ve dört su molekülünün oksijen atomu ile koordine olurken, Cu2 iyonu altı su molekülünün oksijen atomuna koordine olmaktadır.



Şekil 1. Kompleksin moleküler yapısı. Yer değiştirme elipsoitleri %20 oranında çizilmiştir.

Cu(II) iyonlarının koordinasyon polihedronu hafifçe bozulmuş oktahedral geometriye karşılık gelir. Cu1 kationunun ekvatorial pozisyonu, iki su molekülünün oksijen atomları ve iki na ligantının azot atomları tarafından işgal edilirken, eksensel pozisyonlar iki su molekülünün oksijen atomları tarafından işgal edilir.

Tablo 2. Kompleksin seçilen bağ uzunlukları (Å) ve bağ açıları (°)

Kompleks	[14]	[15]	[6]	
Bağ uzunlukları (Å)				
Cu1-N1/N1 ⁱⁱ	2.003(2)	2.012(2)	2.016(2)	-
Cu1-O3/O3 ⁱⁱ	2.037(2)	1.983(2)	1.949(2)	-
Cu1-O2/O2 ⁱⁱ	2.287(3)	2.460(2)	2.651(3)	-
Cu2-O4/O4 ⁱ	1.963(2)	-	-	1.974(2)
Cu2-O11/O11 ⁱ	1.972(2)	-	-	1.980(2)
Cu2-O6/O6 ⁱ	2.404(3)	-	-	2.395(2)
S1-O10	1.464(2)	-	-	1.464(3)
S1-O5	1.465(2)	-	-	1.470(2)
S1-O7	1.470(2)	-	-	1.475(2)
S1-O8	1.470(2)	-	-	1.478(2)
Bağ açıları (°)				
N1-Cu1-O3	88.74(9)	89.48(8)	89.10(7)	-
N1-Cu1-O2	88.17(9)	86.87(8)	88.46(8)	-
O3-Cu1-O2	94.64(11)	94.48(8)	98.97(7)	-
N1-Cu1-O3 ⁱⁱ	91.26(9)	90.52(8)	-	-
N1-Cu1-O2 ⁱⁱ	91.83(9)	93.13(8)	-	-
O3-Cu1-O2 ⁱⁱ	85.36(11)	85.52(8)	-	-
O4-Cu2-O11	92.14(10)	-	-	86.14(8)
O11-Cu2-O6	88.18(10)	-	-	90.25(8)
O4-Cu2-O6	92.10(11)	-	-	91.21(8)
O4-Cu2-O11 ⁱ	87.86(10)	-	-	93.86(8)
O11-Cu2-O6 ⁱ	91.82(10)	-	-	89.75(8)
O4-Cu2-O6 ⁱ	87.90(11)	-	-	88.79(8)

Simetri kodları: (i): -x, -y, -z+1; (ii): -x-1, -y+1, -z+1

Tablo 2'de gösterildiği gibi, Jahn-Teller bozulması olarak bilinen çok az bozulmuş oktahedral geometriden dolayı Cu1-O2/O2ⁱⁱ (2.287 (3) Å) bağ uzunlukları diğerlerinden daha uzundur (Cu1-O3 (2.037 (2) Å) ve Cu1-N1 (2.003 (2) Å)). Kompleksin geometrik parametreleri [Cu(NC-C₆H₄COO)₂(C₆H₆N₂O)₂(H₂O)₂] [14], [Cu(H₂pm)(na)₂(H₂O)₂]_n·4nH₂O [15] ve [6] karşılaştırmalı olarak Tablo 2'de verilmektedir.

Kompleks nicotinamid ligantının amit grubu, sülfat anyonu ve su molekülleri aralarında O-H...O ve N-H...O hidrojen bağı ile bağlanmaktadır. Böylece R₆⁶(16), R₂¹(10) ve R₂²(8) halkaları meydana gelir ve bu halkaların

merkezleri sırasıyla (n, ½, ½; n=0 veya tamsayı), (n+¼, ½, ½; n=0 veya tamsayı) ve (n+⅓, ⅔, ⅔; n=0 veya tamsayı) konumlarında yer alır [16-17]. Bu halka zincirleri [100] doğrultusu boyunca ilerleyen 1D polimerik yapı oluşturur (Şekil 2).

[Cu(H₂O)₆]²⁺ kationu, sülfat anyonu ve su molekülleri arasında oluşan O-H...O hidrojen bağları [001] yönünde 1D zincirler oluşturur (Şekil 3b). Ek olarak, [Cu(na)₂(H₂O)₄]²⁺ kationundaki bağlı su ve na ligantının karbonil grupları arasındaki (O3-H3B...O1^{iv} iv:x, -y+1/2, z-1/2) H-bağı da 1D zincirleri oluşturur. Her iki zincir de sülfat ve amit grubu tarafından

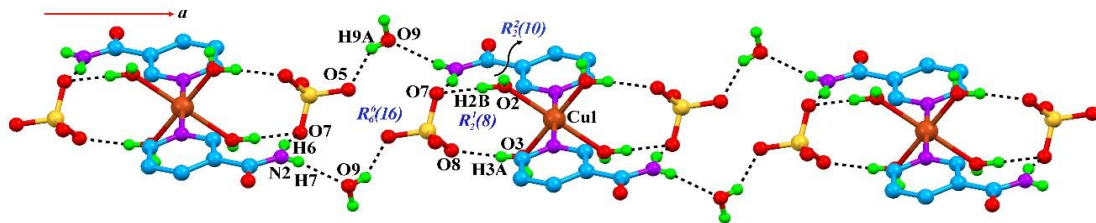
oluşturulan molekül içi H-bağları (O2-H2B-O7, O3-H3A-O8) ve moleküller arası H-bağları (N2-H7...O9ⁱⁱⁱ, iii: -x,-y+1,-z+1) ile bağlanır.

Böylece, (101) düzleminde 2D supramoleküler bir tabaka oluşur (Şekil 3a).

Tablo 3. Kompleksin hidrojen bağ geometrisi (Å, °)

D-H...A	D-H	H...A	D...A	D-H...A
O4-H4A...O5 ⁱⁱⁱ	0.76 (4)	1.98 (4)	2.728 (3)	168 (4)
O6-H6A...O10 ^{iv}	0.80 (5)	2.13 (5)	2.924 (4)	172 (5)
O6-H6B...O5 ⁱ	0.78 (5)	2.34 (5)	3.116 (4)	171 (5)
O9-H9B...O10 ^v	0.89 (5)	1.96 (5)	2.842 (4)	170 (4)
O2-H2A...O1 ^{vi}	0.67 (4)	2.12 (4)	2.780 (4)	169 (4)
O3-H3B...O1 ^{vii}	0.69 (3)	2.04 (3)	2.731 (3)	175 (4)
N2-H7...O9 ⁱⁱⁱ	0.77 (4)	2.29 (4)	3.052 (4)	170 (3)
O11-H11A...O8 ⁱⁱⁱ	0.75 (4)	1.89 (4)	2.625 (3)	164 (4)
N2-H6...O7	0.79 (7)	2.51 (6)	3.251 (4)	156 (5)
O3-H3A...O8	0.81 (4)	1.88 (4)	2.676 (3)	169 (3)
O2-H2B...O7	0.84 (4)	2.01 (4)	2.820 (3)	161 (4)
O9-H9A...O5	0.72 (5)	2.19 (5)	2.820 (4)	147 (5)
O4-H4B...O7	0.76 (4)	1.95 (4)	2.701 (3)	168 (4)

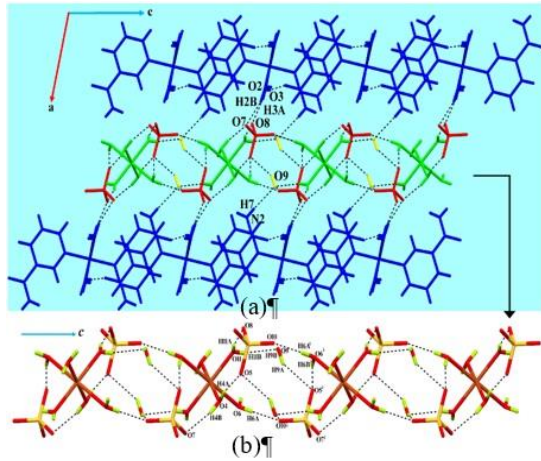
Simetri kodları: (i): -x,-y,-z+1; (iii): -x,-y+1,-z+1; (iv): x,-y+1/2,-z-1/2; (v): -x,y+1/2,-z+3/2; (vi): x,-y+1/2,z+1/2; (vii): x,-y+3/2,z+1/2.



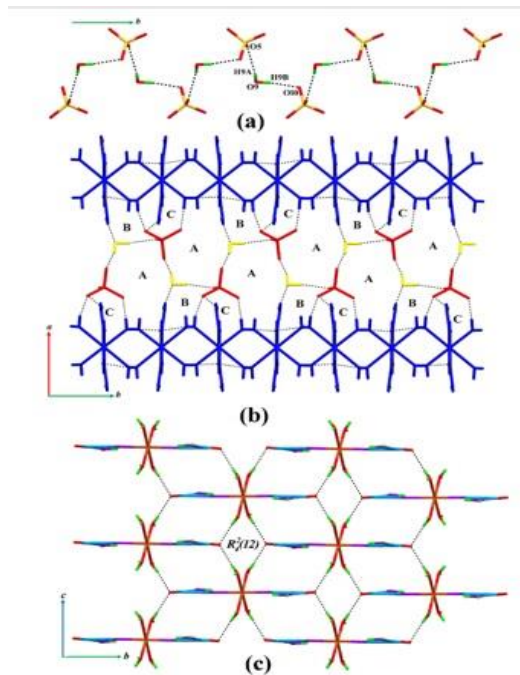
Şekil 2. Koordinasyon monomerlerinin, $R_6^6(16)$, $R_2^2(8)$ ve $R_2^2(10)$ halkaları ile sonuçlanan $N-H\cdots O$ ve $O-H\cdots O$ bağları ile bağlanması. İlgili olmayan H atomları ve $Cu(H_2O)_6$ kısmı, daha net bir görüntü için çıkarılmıştır.

Sülfat ve su molekülünün O atomları, $O-H\cdots O$ H tipi hidrojen bağları ile bağlanır ve zikzak zincirleri meydana getirir (Şekil 4a). Şekil 4b'de görüldüğü gibi, bu zincirler $[Cu(na)_2(H_2O)_4]^{2+}$ kationlarını ab düzleminde iki boyutlu bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlar. Sonuç olarak **A** ($R_6^6(18)$) halkaları ($n_1, n_2, \frac{1}{2}; n=0$ veya tamsayı) konumlarında, **B**

($R_4^4(12)$) halkaları ($n_1, n_2+\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; n=0$ veya tamsayı) konumlarında ve **C** ($R_2^2(8)$) halkaları ($n_1+\frac{1}{5}, n_2+\frac{4}{5}, \frac{3}{5}; n=0$ veya tamsayı) konumlarında yer alır. *a*-doğrultusundan bakıldığında, moleküler tabakalar Şekil 4c'de görüldüğü gibidir ve $R_4^4(12)$ halkaları ($\frac{1}{2}, n_1, n_2+\frac{1}{2}; n=0$ veya tamsayı) pozisyonlarında yer alır. Böylece, 3D supramoleküler yapı oluşur.



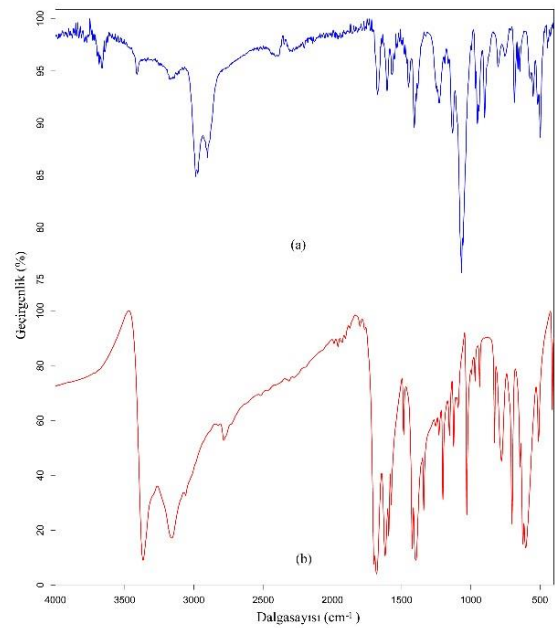
Şekil 3. (a) 1D polimerik zincirlerinin (Şekil 2), O–H...O hidrojen bağları ile meydana getirdiği 2D tabakalar (b) $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ katyonları arasında oluşan O–H...O tipi hidrojen bağlarının [001] yönündeki zincirleri. Daha net bir görüntü için ilgili olmayan su molekülleri çıkarılmıştır. Simetri kodları Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4. (a) Sülfat ve su molekülünün O atomlarının H-bağları yoluyla bağlanmasını gösteren zig-zag zincirleri. (b) bu zincirler ile $[Cu(na)_2(H_2O)_4]^{2+}$ katyonlarını birbirine bağlayan, komşu A ($R_6^6(18)$), B ($R_4^4(12)$) ve C ($R_2^2(8)$) halkaları. (c) 3D supramoleküler yapının x-doğrultusundan bakıldığında görünüşü

Titreşim Spektrumu

Kompleksin titreşim spektroskopi çalışması, esas olarak kompleks ile serbest na ligant arasındaki titreşim piklerindeki değişikliklere odaklanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Nikotinamid molekülleri hidrojen bağları yapmak için aktif üç donör alanına sahiptir. Bu bölgeler, piridin halkasının azotu, amit grubunun primer amin ve karbonil C=O'dur. Bir amit grubunun karbonil oksijen yoluyla metal koordinasyonu, karbonil grubunun germe frekansında daha düşük bir değere kayma ile ortaya çıkar [18].



Şekil 5. (a) Kompleksin (b) Nikotinaminin FT-IR spektrumları

O-H ve NH₂ Titreşimleri

Kompleks, OH su grubu ve su moleküllerinden kaynaklanan 3682 cm^{-1} , 3663 cm^{-1} ve 3514 cm^{-1} 'de OH gerilme modlarına sahiptir. Tablo 4'te görüldüğü gibi, $\nu(NH_2)_s$ ve $\nu(NH_2)_{as}$ titreşim pikleri, orta kuvvettedir ve hidrojen bağı nedeniyle yüksek frekans bölgesine doğru

kaymaktadır. Serbest *na* ligantında $\nu(\text{NH}_2)_s$ ve $\nu(\text{NH}_2)_{as}$ pikleri, 3368-3163 cm^{-1} aralığında güçlü pikler olarak ortaya çıkar [19]. Bu titreşim pikleri, kompleks de 3410 cm^{-1} ve 3170 cm^{-1} 'de gözlenir. Kompleks oluşum durumunda değerlerin değiştiği görülür. Kompleks halinde bu değerlerde bir miktar kayma görülmektedir. Bu durum metal-ligant koordinasyonu veya hidrojen bağından kaynaklanmaktadır.

C-H, C-C ve C-N Titreşimleri

Piridinin C-H germe titreşimi genellikle C-H germe titreşiminin karakteristik bölgesi olan 3100-3000 cm^{-1} aralığında görülür [20]. Buna göre, FT-IR spektrumunda C-H simetrik gerilme titreşimleri, komplekste sırasıyla 3075 cm^{-1} ve 3060 cm^{-1} de gözlenir. Bu değerler literatür tarafından desteklenmektedir [21]. C-H düzlem içi bükme atamaları 1000-1300 cm^{-1} aralığında görülür [22]. Düzlem içi C-H bükülme titreşimi, kompleks de 1252 cm^{-1} 'de, serbest *na* da ise 1254 cm^{-1} 'de görünmektedir. Bu titreşimde gözlenen değişiklik, hidrojen bağı veya koordinasyon bağı olmadığından çok küçüktür. C-H düzlem dışı bükme atamaları 1000-500 cm^{-1} bölgesinde gerçekleşir [20]. Aromatik CH düzlem dışı bükülme bantları, kompleksin FT-IR spektrumunda 949 cm^{-1} , 802 cm^{-1} , 752 cm^{-1} ve 510 cm^{-1} 'de görünür. Buna göre, *na* ligantında CH düzlem dışı bükülme titreşimleri 970 cm^{-1} , 936 cm^{-1} , 829 cm^{-1} , 778

cm^{-1} , 517 cm^{-1} ve 499 cm^{-1} 'de görünür. C-C gerilme titreşim bantları 1650-1200 cm^{-1} aralığında meydana gelir ve C-N germe titreşimi genellikle aromatik bileşikler için 1400-1200 cm^{-1} bölgesinde yer alır [20]. Piridin halkaları için $\nu(\text{C}=\text{C})+\nu(\text{C}=\text{N})$ bantları komplekste 1592 cm^{-1} ve 1573 cm^{-1} 'de gözlenir. Ayrıca C-C ve C-N'nin diğer titreşimleri Tablo 4'te verilmiştir. Piridin halkalarının C-C ve C-N gerilme titreşimlerinde de küçük değişiklikler görülmektedir [23].

S-O Titreşimleri

SO_4^{2-} iyonlarının S-O gerilme titreşimleri genellikle 1130-1080 cm^{-1} bölgesinde görülür [24]. Komplekste S-O gerilme titreşimleri 1101 cm^{-1} 'de görülür. Bu değer literatür ile uyumludur [25]. Literatürde SO_4^{2-} iyonlarının S-O bükülmesine bağlı bantlar 680-610 cm^{-1} 'de görülmektedir [20]. Kompleksin spektrumunda ise bu bantlar 684 cm^{-1} 'de ortaya çıkmaktadır.

C=O Titreşimleri

Serbest nicotinamid de, karbonil grubunun $\nu(\text{C}=\text{O})$ titreşimleri 1697 cm^{-1} ve 1679 cm^{-1} 'de görülmektedir. Komplekste ise $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilme titreşimleri 1725 cm^{-1} 'de meydana gelmektedir. Buna göre, kompleksin spektrumları ile serbest *na* arasındaki bu kaymaların sebebi, hidrojen bağı yapmasından dolayı C=O çift bağı karakterinin zayıflamasıdır.

Tablo 4. Kompleksin bazı karakteristik titreşim pikleri (cm^{-1}) ve literatür değerleri

Titreşimler	Na [18]	Kompleks	Cu-Na [19]	Cu-Sac-Na [5]	Cu-SO ₄ [24]
$\nu(OH)$	-	3682,3663,3514	-	-	3596,3572
$\nu_{as}(NH_2)$	3368	3410	3403	3421	-
$\nu_s(NH_2)$	3163	3170	3158	3260	-
$\nu(CH)$	3060	3075,2984,2903	3067	-	-
$\nu(C=O)$	1697,1679	1725	1708,1665	1660	-
$\delta(OH)$	-	1672	-	-	-
$\delta(NH_2)$	1618	1620	1622	1625	-
$\nu(C=C)+\nu(C=N)$	1592,1573	1604,1569	1604,1578	1586	-
$\nu(C-C)+\delta(C-H)$	1484	1498,1480	1481	-	-
$\nu(\text{halka})$	1423	1448,1408	1436	-	-
$\nu(C-N)_{\text{amit}}$	1395	1383	1378	1399	-
$\nu(\text{halka})$	1339	1327	1331	-	-
$\delta(CH)$	1254	1252	1247	-	-
$\nu(\text{ring})$	1230	1228	1230	-	-
$\nu(C-C)$	1201	1190	1207	-	-
$\delta(NH_2)$	1153	1133	1157	1119	-
$\nu(C-C)$	1123	-	1128	-	-
$\delta(CH)$	1090	-	1084	-	-
$\nu(S-O)$	-	1068	-	-	1070
Halka soluklanması	1028	-	1061	-	-
$\nu(\text{halka})$	995	997	989	-	-
$\gamma(CH)$	970,936	949	951,935	-	-
$\gamma(OH)$	-	899	-	-	-
$\gamma(CH)$	829,778	802,752	820,775	-	-
$\delta(\text{halka})$	702	711	727	-	-
$\delta(S-O)$	-	684	-	-	600
$w(NH_2)$	644	644	658	-	-
$\delta(\text{halka})$	622	-	630	641	-
$\delta(O=CN)$	602	572	604	-	-
$\gamma(C-H)$	510	517,499	548	-	-
γ halka	433	444	443	436	-
$\gamma(\text{halka})$	411	424	412	-	-

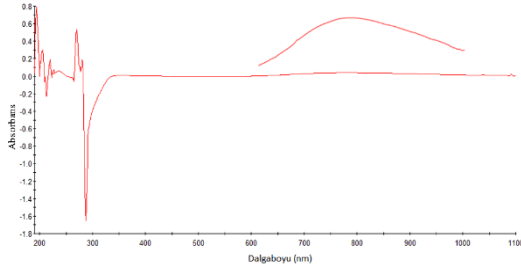
ν : bağ gerilmesi, ν_{as} : asimetrik bağ gerilmesi, ν_s : simetrik bağ gerilmesi, δ : düzlem içi açı bükülmesi, γ : düzlem dışı açı bükülmesi

Elektronik Özellikler

Su içinde alınan kompleksin elektronik spektrumunda, Cu(II) metalin d-d geçişine karşılık gelen 780 nm'de merkezlenmiş bir absorpsiyon bandı ortaya çıkar (Şekil 6). Bu değer, geniş bir zarf olarak ${}^2B_{1g} \rightarrow {}^2E_g$ ($d_{xz, yz} \leftrightarrow d_{x^2-y^2}$) ve ${}^2B_{1g} \rightarrow {}^2B_{2g}$ ($d_{xy} \leftrightarrow d_{x^2-y^2}$) geçişlerine atfedildi. X-ışını kırınımından görüldüğü gibi, bu geniş absorpsiyon bandı

hafifçe bozulmuş oktahedral geometrinin varlığını gösterir. 300 nm'nin altındaki absorpsiyon bantları, na ligantlarının ve SO₄²⁻ iyonlarının ligantlar arası yük geçişinden (ILCT, International Ligand Charge Transition) kaynaklanmaktadır. Bu bantlar, $\pi \rightarrow \pi^*$ ve $n \rightarrow \pi^*$ geçişleri nedeniyle yaklaşık 200 ve 264 nm'de iki maksimum sergiler [9]. Ayrıca 360 nm de ki bant metal-ligant veya ligant-metal geçişinden (MLCT, Metal Ligand Charge

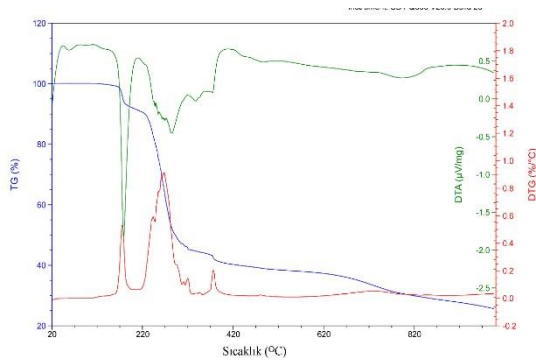
Transition veya LMCT, Ligand Metal Charge Transition) kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Kompleksin UV-Vis spektrumu

Termogravimetrik Analiz

Kompleksin bozunması üç adımda gerçekleşmektedir (Şekil 7). İlk ağırlık kaybı, 115-225°C aralığında dört su molekülünün bozunması ile meydana gelir (gözlenen, %10.01; hesaplanan, %9.78). Nikotinamid literatürde 190-305°C sıcaklık aralığında bozunurken [26], bu çalışmada kompleks, 225-375°C sıcaklık aralığında nikotinamid ve kalan su moleküllerini kaybeder. Bu aşamadaki deneysel kütle kaybı %44.61'dir (hesaplanan, %44.02). Son aşamada, ekzotermik bir pik (DTG_{max}= 736 °C) SO₄²⁻ iyonlarının yanması nedeniyle olur. Son ürün olarak, (CuO₂)₂ kalmıştır (gözlenen, %25.66; hesaplanan, %25.94).



Şekil 7. Kompleksin TG (mavi çizgi), DTG (kırmızı çizgi) ve DTA (yeşil çizgi) eğrileri

Sonuç

Bu çalışmada yeni bir [Cu(na)₂(H₂O)₄]²⁺. [Cu(H₂O)₆]²⁺. [(SO₄)₂]⁴⁻. (H₂O)₂ kompleksi sentezlenmiş ve rapor edilmiştir. Bu kompleks P2₁/c uzay grubunda kristalleşir. Yapısal çalışmasında nikotinamid ligantının amit azot atomları, [SO₄]²⁻ iyonu ve [Cu(HO₂)]²⁺ kationunu içeren hidrojen bağları ile üç boyutlu supramoleküler yapı oluşumu vurgulamıştır. IR spektrumu serbest nikotinamid ligandı ile karşılaştırıldığında, hidrojen bağı ile bağlanan fonksiyonel grupların titreşim frekanslarında yukarı veya aşağı kaymalar görülmüştür. Kompleksin UV-Görünür spektrumları geçiş metali etrafındaki koordinasyon ortamının bozulmuş oktahedral geometri olduğunu desteklemiştir. Termal analiz çalışmaları, nihai bozunma ürününün (CuO₂)₂ olduğunu göstermektedir.

Ek Materyal

Bu çalışma için CCDC No: 1566697 ek kristalografik verileri içerir. Bu veri <http://www.ccdc.cam.ac.uk/> adresinden ücretsiz olarak elde edilebilir.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri Yazar bu çalışmanın araştırması veya yayınlanması için herhangi bir mali destek almamıştır.

Etik Kurul Onayı ve İzinler -

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar -

Yazarların Katkısı Yazar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

- [1] Ramalingam, S., Periandy, S., Govindarajan, M., & Mohan, S. (2010). FT-IR and FT-Raman vibrational spectra and molecular structure investigation of nicotinamide: A combined experimental and theoretical study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 75(5), 1552-8. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2010.02.015>
- [2] Kozlevčar, B., Leban, I., Turel, I., Šegedin, P., Petric, M., Pohleven, F., White, A. J. P., Williams, D. J., & Sieler, J. (1999). Complexes of copper (II) acetate with nicotinamide: preparation, characterization and fungicidal activity; crystal structures of $[\text{Cu}_2(\text{O}_2\text{CCH}_3)_4(\text{nia})]$ and $[\text{Cu}_2(\text{O}_2\text{CCH}_3)_4(\text{nia})_2]$. *Polyhedron*, 18(5), 755-762. [https://doi.org/10.1016/S0277-5387\(98\)00350-7](https://doi.org/10.1016/S0277-5387(98)00350-7)
- [3] Pirc, E. T., Modec, B., Cer-Kerčmar, K., & Bukovec, P. (2014). Synthesis, structure, antioxidant and SOD-mimetic activity of $[\text{Cu}(\text{xanthurenate})(\text{nicotinamide})(\text{H}_2\text{O})]$ complexes. *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly*, 145(6), 911-920. <https://doi.org/10.1007/s00706-014-1168-y>
- [4] Castellano, E. E., Piro, O. E., Parajón-Costa, B. S., & Baran, E. J. (2002). Crystal structure and vibrational behaviour of tetraaqua-di(nicotinamide) M(II)-saccharinates, with M(II)=Co, Ni, Zn. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 57(6), 657-660. <https://doi.org/10.1515/znb-2002-0611>
- [5] Parajón-Costaa, B. S., Baran, E. J., Piro, O. E., & Castellano, E. E. (2002). Crystal structure and vibrational behaviour of aqua di (saccharinato) di (nicotinamide) copper (II). *Zeitschrift für Naturforschung B*, 57(1), 43-46. <https://doi.org/10.1515/znb-2002-0105>
- [6] Naïli, H., Rekik, W., Bataille, T., & Mhiri, T. (2006). Crystal structure, phase transition and thermal behaviour of dabcodiiium hexaaquacopper(II) bis(sulfate), $(\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2)[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{SO}_4)_2$. *Polyhedron*, 25(18), 3543-3554. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2006.07.010>
- [7] Saïd, S., Mhadhbi, N., Hajlaoui, F., Yahyaoui, S., Norquist, A. J., Mhiri, T., Bataille, T., & Naïli, H. (2013). The structural transformation of monoclinic $[(\text{R})-\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2][\text{Cu}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ into orthorhombic $[(\text{R})-\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2]_2[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{SO}_4)_3$: crystal structures and thermal behavior. *Phase Transitions*, 87(1), 71-84. <https://doi.org/10.1080/01411594.2013.787617>
- [8] Ma, J. F., Yang, J., Zheng, G. L., Li, L., & Liu, J. F. (2003). A porous supramolecular architecture from a copper(II) coordination polymer with a 3d four-connected 86 net. *Inorganic Chemistry*, 42(23), 7531-7534. <https://doi.org/10.1021/ic034846q>
- [9] Aycan, T. (2020). Hekzaakua-bis(sulfat) içeren nikotinamitli kobalt(II) ve çinko(II) koordinasyon bileşikleri: sentezlenmesi, yapısal, spektroskopik ve termal özelliklerinin incelenmesi. *Geleceğin Dünyasında Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar 2020/ Fen Bilimleri I*, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa, 94-111.
- [10] Sheldrick, G. (1992). SHELXS-97 and SHELXL-97, University of Gottingen, Germany.
- [11] Farrugia, L. J. (1999). WinGX suite for small-molecule single-crystal crystallography. *Journal of Applied Crystallography*, 32(4), 837-838. <https://doi.org/10.1107/S0021889899006020>
- [12] Farrugia, L. J. (1997). ORTEP-3 for windows-a version of ORTEP-III with a graphical user interface (GUI). *Journal of Applied Crystallography*, 30(5), 565-565. <https://doi.org/10.1107/S0021889897003117>
- [13] Macrae, C. F., Edgington, P. R., McCabe, P., Pidcock, E., Shields, G. P., Taylor, R., Towler, M., & Streek, J. v. d. (2006). Mercury: visualization and analysis of crystal structures. *Journal of Applied Crystallography*, 39(3), 453-457. <https://doi.org/10.1107/S002188980600731X>

- [14] Özbek, F. E., Sertçelik, M., Yüksek, M., Necefoğlu, H., Çelik, R. Ç., Nayir, G. Y., & Hökelek, T. (2017). Cu(II) and Ni(II) 4-cyanobenzoate complexes with nicotinamide: Synthesis, spectral, structural and optical characterization and thermal behavior. *Journal of Molecular Structure*, 1150, 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.08.074>
- [15] Kaştaş, G., Aycan, T. A., Paşaoğlu, H., Kocabıyık, C., & Karabulut, B. (2012). Supramolecular structures constructed by connection of one-dimensional polymer chains through the dimeric water clusters in coordination polymers of pyromellitate ligand. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 22(5), 1003-1015. <https://doi.org/10.1007/s10904-012-9686-8>
- [16] Etter, M. C. (1990). Encoding and decoding hydrogen-bond patterns of organic-compounds. *Accounts of Chemical Research*, 23(4), 120-126. <https://doi.org/10.1021/ar00172a005>
- [17] Bernstein, J., Davis, R. E., Shimon, L., & Chang, N. L. (1995). Patterns in hydrogen bonding - functionality and graph set analysis in crystals. *Angewandte Chemie International Edition*, 34(15), 1555-1573. <https://doi.org/10.1002/anie.199515551>
- [18] Paşaoğlu, H., Güven, S., Heren, Z., & Büyükgüngör, O. (2006). Synthesis, spectroscopic and structural investigation of $ZnI_2(\text{nicotinamide})_2$, $ZnI_2(\text{isonicotinamide})_2$ and $[Zn(\text{H}_2\text{O})_2(\text{picolinamide})_2]I_2$. *Journal of Molecular Structure*, 794(1), 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2006.02.045>
- [19] Bayarı, S., Ataç, A., & Yurdakul, Ş. (2003). Coordination behaviour of nicotinamide: an infrared spectroscopic study. *Journal of Molecular Structure*, 655(1), 163-170. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(03\)00256-4](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(03)00256-4)
- [20] Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, Wiley.
- [21] Ak Aycan T., Paşaoğlu, H., & Kaştaş, G. (2016). Two different coordination dimers of pyromellitic acid in terms of molecular geometry and supramolecular architecture. *Journal of Molecular Structure* 1105(1), 238-245.
- [22] Sundaraganesan, N., Ilakiamani, S., & Joshua, B. D. (2007). FT-Raman and FT-IR spectra, ab initio and density functional studies of 2-amino-4, 5-difluorobenzoic acid. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67(2), 287-297. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2006.07.016>
- [23] Tyagi, S., Singh, S. M., Gencaslan, S., Sheldrick, W., & Singh, U. P. (2002). Metal-5-fluorouracil-histamine complexes: solution, structural, and antitumour studies. *Metal-based drugs*, 8(6), 337-345. <https://doi.org/10.1155/MBD.2002.337>
- [24] Secco, E. A. (1988). Spectroscopic properties of SO_4 (and OH) in different molecular and crystalline environments. I. Infrared spectra of $Cu_4(OH)_6SO_4$, $Cu_4(OH)_4OSO_4$, and $Cu_3(OH)_4SO_4$. *Canadian Journal of Chemistry*, 66(2), 329-336. <https://doi.org/10.1139/v88-057>
- [25] Nakamoto, K. (2009). *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds, Part B: Applications in Coordination, Organometallic, and Bioinorganic Chemistry*. Wiley.
- [26] Köse, D., & Necefoğlu, H. (2008). Synthesis and characterization of bis (nicotinamide) m-hydroxybenzoate complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 93(2), 509-514.



Coronavirus: A Biochemical Approach

Aysel GÜVEN¹ , Tülay DİKEN ALLAHVERDİ²  and Özge Deniz GÜVEN³ 

How to cite: Güven, A., Diken Allahverdi, T., & Güven, Ö. D. (2021). Coronavirus: A biochemical approach. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 66-77 <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.776394>

Review

Corresponding author

Aysel GÜVEN
ayselguven@hotmail.com

ORCID of the authors

A.G.: 0000-0001-7511-7105
T.D.A.: 0000-0001-7723-7338
Ö.D.G.: 0000-0003-4539-9214

Received: 02.08.2020

Accepted: 08.03.2021

Abstract

The purpose of this study is; to give information about the biological structure, metabolism and interaction of the Covid-19 agent virus with the defense system; to reveal the relationship between biochemical blood values and the defense system in Covid-19 cases and to update the data on preventing the damage that the virus may cause, in line with scientific developments. Relevant articles found by searching the keywords “SARS-CoV-2” and “Coronavirus” in Pubmed, Web of Science and Google Scholar databases and Google Search Engine were included in the study. This virus, called SARS-CoV-2, which originated in Wuhan, China and caused the disease called Covid-19, spread to almost all countries of the world and caused a high number of deaths in a very short time. Using the virus RNA, the infected cell begins to produce proteins that will keep the immune system at bay and help create new copies of the virus. For this reason, monitoring the disease and sharing information all over the world, epidemiological contact history, clinical features, biochemical tests in all blood and urine and other conditions are important evaluations for the treatments of the patient. It is imperative to follow the global situation and to make correct decisions according to the changes in epidemiology and to update the information of employees.

Keywords: SARS-CoV-2, Covid19, biochemical tests

Biyokimyasal Açıdan Koronavirüs

¹Baskent University, Health Services Vocational School of Pathology Laboratory, Ankara, Turkey

²Kafkas University, Faculty of Medicine Department of General Surgery, Kars, Turkey

³Kafkas University, Faculty of Medicine Intensive Care Unit, Kars, Turkey

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Öz

Bu çalışmanın amacı; Covid-19 etkeni virüsün biyolojik yapısı, metabolizması ve savunma sistemiyle etkileşimi hakkında bilgi vermek; Covid-19 vakalarında biyokimyasal kan değerleri ile savunma sistemi ilişkilerini ve virüsün yaratabileceği tahribatları engellemek konusundaki verileri bilimsel gelişmeler doğrultusunda güncelleyerek ortaya koymaktır. Pubmed, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında ve Google Arama Motorunda “SARS-CoV-2” ve “Coronavirus” anahtar kelimeleri aranarak bulunan ilgili makaleler çalışma kapsamına alınmıştır. Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkmış ve Covid-19 adı verilen hastalığa yol açan SARS-CoV-2 olarak adlandırılan bu virüs, dünyanın neredeyse bütün ülkelerine yayılmış ve çok kısa bir sürede yüksek sayıda ölümlere neden olmuştur. Enfekte olan hücre, virüs RNA'sını kullanarak, bağışıklık sistemini uzak tutacak ve virüsün yeni kopyalarını oluşturmaya yardımcı olacak proteinler üretmeye başlar. Süreç dinamik ve yeni keşifler ve değişiklikler her an olabilir. Bu nedenle tüm dünyada hastalığın izlenmesi ve bilginin paylaşılması, epidemiyolojik temas öyküsü, klinik özellikler, tüm kan ve idrarda biyokimyasal testler ve diğer durumlar hastanın tedavisi için önemli değerlendirmelerdir. Küresel durumun izlenmesi ve

Introduction

Sharing experience and information on the new coronavirus as soon as possible is vital, as it is now firmly on the global agenda. We do not have much information on the virus yet, but studies are continuing. Multiple research projects and case studies have been conducted by the Infectious Diseases, Clinical Microbiology, Virology, and Internal Diseases departments in recent years but there is almost no information on the biochemistry of the virus and the biochemical effects in infected patients. Clarification of how a toxic or pathological (viral, bacteriological, carcinogenic) substance taken from the outside affects the metabolic biochemical parameters may be the primary information that makes it possible to decrease the damage or ensure recovery from the agent.

Initially, only two types of HCoV, HCoV229E and HCoV-OC43 are known to cause infections in humans and animals. But in 2002 nearly 4 viruses have been identified since, each one causing people a severe illness.

In 2003, these four viruses, HCoV-229E, HCoV-NL63, HCoV-OC43 and HCoVHKU1, which caused acute respiratory failure, had significant effects on respiratory system pathogenesis [1-6].

SARS-CoV appeared in 2003 as the first international health emergency of the 21st century and caused the deaths of hundreds of people. Approximately ten years later, the

MERS-CoV (Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus) virus appeared in a hospital in Zarqa, Jordan in April 2012, and was identified in Saudi Arabia in September. This virus had previously never been shown in humans or animals [6-8].

The first MERS-CoV case in Turkey was seen in October 2014 and a laboratory confirmed MERS-CoV infection was reported to the WHO's Regional Office for Europe-EURO by the Turkish National Health Legislation Focus Point [9].

At the end of 2019, a new epidemic started in China by the International Virus Taxonomy Committee, which was similar to SARS-CoV and spread all over the world in a short period of three months [1]. The global mortality rates have been reported daily by the Ministry of Health in Turkey and countries around the world since the first day of the pandemic [10-12]. Studies on the subject conducted by the Turkish Ministry of Health, University Research Hospitals, and Medical Laboratories are continuing. In addition, the Pendik Veterinary Control Institute, which operates under the General Directorate of Food Control under the Ministry of Agriculture and Forestry, was included in the vaccine production study organized by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) against the virus that causes Covid-19 disease. Studies conducted so far indicate that the transmission after the first case is within 56

days, while the transmission period is 214 days. Considering the information obtained from the cases, the symptoms of the new type of coronavirus are fever, cough, dyspnoea, myalgia, fatigue, and diarrhoea. The first symptoms include loss of smell and taste. The high mortality rates from the disease are thought to be mostly seen in the elderly and immunosuppressed patients. This has resulted in the younger age groups taking the disease less seriously [13, 14]. Most of the fatal cases have been a result of respiratory failure. Myocardial damage/heart failure signs have also been reported and some patients have died because of circulatory failure [15]. The potential complications include septic shock, acute cardiac damage, arrhythmia, cardiovascular collapse (ARDS), and multiple organ failure. Some cases have also been found to be positive for other viruses (coronavirus, influenza A virus, rhinovirus, influenza A H3N2) [12].

The information we have so far about this new virus is inadequate as regards the diagnosis, transmission mode, incubation period (3 to 14 days), accurate prediction of the number of infected cases in the society, and the easy spread that causes the pandemic. In addition, the transmission of the disease to healthcare staff and its easy spread in the society make the disease more complex. Since there is no definite treatment or vaccine for this viral disease, it creates a significant problem for those with a suppressed immune system or a chronic disorder, and the elderly [8, 16, 17].

We present the current knowledge on the biological structure and metabolism of the Covid-19 virus and its interaction with the immune system, together with the data on the relationship between the biochemical blood values and the defense system in Covid-19 cases, in order to prevent the potential damage caused by the virus as updated with scientific developments.

Using the study coronavirus and biochemical test keywords, available data and studies in all search engines were examined.

Results

This virus, which appeared in Wuhan, China, called SARS-CoV-2, which caused the disease called Covid-19, spread to almost all countries of the world and caused a high number of deaths in a very short time. The infected cell, using the virus RNA, begins to produce proteins that will keep the immune system away and help create new copies of the virus.

Biological Structure and Metabolism

Coronaviruses are single-chain, enveloped RNA viruses with positive polarity. This means that they do not contain the RNA-dependent RNA polymerase enzyme, but they can encode this enzyme in their genomes. They have rod-like extensions on their surfaces. These viruses are named Coronavirus based on these extensions that appear like a crown, i.e. "corona" in Latin [9, 17, 18]. Zoonotic diseases known as severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV), Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)

cause death as well as severe respiratory defects [2, 19].

Coronaviruses are included in the Coronaviridae family and the Orthocoronavirinae subfamily. The Orthocoronavirinae subfamily is separated into four genera (and many sub-genera) as Alpha, Beta, Gamma and Delta coronavirus. Viruses belonging to these genera can be found in humans, bats, pigs, cats, dogs, rodents, and poultry [9, 17]. The disease spectrum caused by Coronavirus in humans can range from simple colds to severe acute respiratory syndrome.

A novel severe acute respiratory syndrome (SARS)-like coronavirus (SARS-CoV-2) recently emerged and is rapidly spreading in humans, causing Covid-19. In a study, the differences between SARS-CoV-2, SARS-CoV and RaTG13 in ACE2 recognition revealed the potential for human-to-human transmission of SARS-CoV-2 [20].

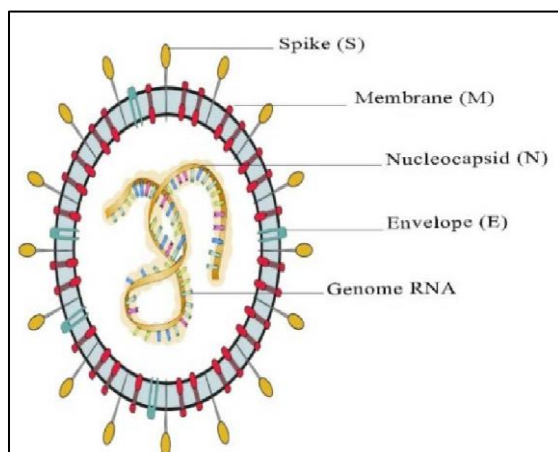


Figure 1. Structure of the coronavirus

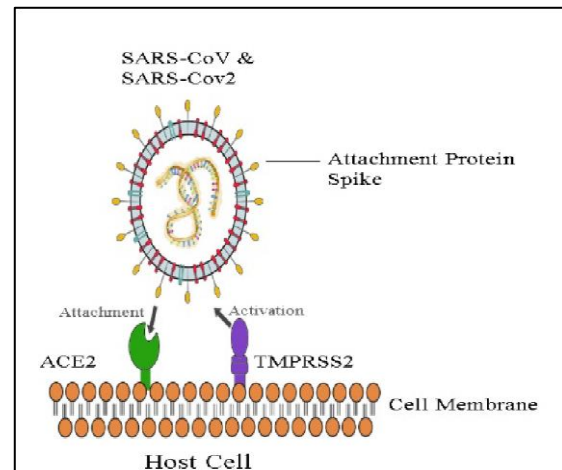


Figure 2. Mechanisms of coronavirus cell entry

The virus is currently thought to belong to the beta coronavirus family, which has an envelope and particles that are round or oval and usually polymorphic, with a diameter of 60 to 140 nm. SARS-CoV-2 has four structural proteins, also known as S (spike), E (envelope), M (membrane), and N (nucleocapsid) proteins. N protein holds the RNA genome, and S, E and M proteins together form the viral envelope. Spike protein causes the host to adhere to the cell membrane. Currently, there are 107 protein structures related to Covid-19 in the database where protein structures are collected. It is believed that the protein undergoes a conformational change to bind to the receptor, a protein called ACE2, which is the main target of the spike protein and is common in cells in our respiratory system. In addition, the complex crystalline structure of the RBB portion of the ACE2 and spike protein is predicted to play a role in the interaction with the glycans on ACE2 [21-23].

The nucleocapsid protein is an important structural protein for the coronaviruses. It is

highly abundant in the viruses. Its function involves entering the host cell, binding to the viral RNA genome, and forms the ribonucleoprotein core. The SARS-CoV-2 N protein shares high homology with the SARS-CoV N protein, with a sequence identity of 90.52% [24-26]. Coronaviruses mainly target epithelial cells and are often associated with acute or chronic gastrointestinal and respiratory infections, which can become chronic when the virus is elongated [25]. According to studies, ACE2, which is the entry receptor of SARS-CoV viruses into cells, has been detected in lung epithelial cells, kidney, lymph, adrenal glands, small intestine, arterial-venous endothelial cells and colon in humans [26, 27]. In addition, they have been supported by experimental animal infections studies that they are effective on the central nervous system [28].

While the studies have stated that the new virus is 88% similar to SARS-CoV and 50% similar to MERS-CoV [29] another study suggests that it shows sequence similarity with SARS-CoV and MERS-CoV 79% and with MERS-CoV [30].

Interaction with the Immune System

The SARS-CoV-2 coronavirus enters the body by breathing (after someone close to us has coughed), contact with a surface infected by the virus, or through our face. The virus is first positioned in the throat, respiratory tract, and lungs. The genetic material of the virus consists of about 30,000 bases. The infected cells begin to produce proteins by using the virus RNA that will keep the immune system away and help

create new copies of the virus. This stage takes about a week. Each infected cell dies by breaking up and releasing millions of copies of the virus. These viruses can then infect nearby cells or scatter with droplets that escape from the lungs [11, 31].

Most people recover at this stage without any symptoms because their immune system defeats the virus. Adequate and balanced nutrition is one of the important elements for a strong immune system and fighting against bacterial, viral, fungal, parasitic, and toxicological diseases. Covid-19 progresses more severely in patients with advanced age and accompanying diseases such as asthma, diabetes, and heart disease. Current data indicate that the disease is severe in 1015% of the cases and results in death in approximately 2-3% [11]. There are several studies showing that the immune system in these age and patient groups is either suppressed or not strong enough, due to reasons such as limited or poor nutrition [31]. Carbohydrates, proteins, fats, vitamins, minerals, and water are indispensable for the functioning of the organism with their different roles in the immune system and should be taken in a balanced manner [32]. While certain nutrients are necessary precursors for the development of immune system cells, some are known to stimulate the production of immune system cells or take part in the inflammatory response, while others with antioxidant properties have a positive effect on the immune system [33, 34].

The blood results of the severe cases reported from various hospitals and various countries have shown a deficiency of the vitamins A, D, E, and C in addition to iron in most of these patients [11, 14].

These vitamins are part of the body's antioxidant defense system and eliminate free radicals. Decreasing and balancing the free radicals in the body is important for healthy metabolic activity. The overproduction of free radicals plays an important role in the development of many chronic diseases. It is very important for the immune system to be strong in order to prevent viral diseases or to survive them with the least amount of damage as in many other diseases. Vitamin A and D have immune system regulatory and anti-inflammatory properties while vitamin E and C have an antioxidant effect [34]. Iron and zinc deficiencies have a negative effect on the immune system. Probiotics and prebiotics are known to be support the immune system. A properly functioning immune system acts as the natural defense system of the body and supports the treatment of many diseases while shortening the recovery period [20, 33].

A limited diet or decreased energy intake has been shown to increase the severity of influenza infection in patients with diabetes, cancer, and high blood pressure. Obese individuals also have a higher prevalence of infection and a lower antibody response [35, 36].

Çapan et al. conducted a study on coronavirus patients with a mean age of 39.8 ± 14.6 years. Two cases were hospital employees and

additional disease was present in 4 cases. The most common symptom was shortness of breath (80%), followed by cough (70%), nausea, vomiting, and sputum production (30%).

Leukocytosis and erythrocyte sedimentation rate elevation were present in 3 cases. Pneumonic infiltration on chest x-ray was observed in 8 cases [37].

The Effect on Biochemical Blood Values

Clinical Biochemistry laboratories conduct studies to support the clinicians during the diagnosis, treatment, and follow-up processes through in vitro and in vivo analyses of various biological samples. Their main goal is to conform to the highest quality standards while using the most advanced techniques in all request-related processes and delivering the results to the relevant clinics. It is important that all studies on the coronavirus pandemic that currently threatens the world are conducted with the same goal.

The most common hematological finding in these patients is lymphopenia, followed by leukocytosis and leukopenia [14, 38].

Lactate dehydrogenase (LDH), aminotransferase, and C-reactive protein (CRP) values are elevated in almost all Covid-19 patients with no change in procalcitonin levels. Patients with advanced disease may have lymphopenia in addition to increased creatinine phosphokinase (CPK), ferritin, and Ddimer (>1 mcg/ml) levels as well as increased prothrombin time, as a result of kidney damage [10-14]. Some haematological parameters (e.g. WBC, lymphopenia, CRP, LDH, CK and

troponin) were associated with the severity of Covid-19 [12-14]. The results indicate that the differences in BLOOD, PRO, SG and pH are caused by SARS-CoV-2 infection, not bacterial infection [16]. In a study, blood parameters in patients aged 52 years, C-reactive protein > 64.79 mg/L, lactate dehydrogenase > 245 U/L, D-dimer > 0.96 ug/mL, serum amyloid A > 100.02 mg/L or albumin < 36 g/L, and it is stated that the progression of Covid-19 to the critical stage can be a prognostic indicator in these values and lymphocyte count, serum potassium and procalcitonin [12].

Lian et al. reported leukocytopenia in 32.04%, lymphocytopenia in 16.77%, thrombocytopenia in 1.08%, increased international normalized ratio (INR) in 14.84%, and decreased albumin levels in 36.56% of their patients. Increased ALT levels were seen in 10.11% and increased AST levels in 11.18% of the patients. The creatine kinase level had increased by 4.95% and lactate dehydrogenase levels by 25.16%. Some studies have found vitamin D deficiency in Covid 19 patients. Vitamin D is reported to be protective against Covid 19 due to its immunomodulating, anti-inflammatory, antifibrotic, and antioxidant effects [23].

In urine samples taken from Critical Covid-19 patients admitted to Renmin Hospital, latent blood (KAN), proteinuria (PRO), bilirubin, urobilinogen, hydrogen potential (pH), specific gravity (SG), ketone (KET), urine glucose (GLU-U), nitrite and leukocytes (LEU) were examined. The positive rates of BLOOD and

PRO were significantly higher in patients with Covid-19 than in healthy controls ($P < 0.05$). The differences in SG and pH values between patients with Covid-19 and healthy controls were statistically significant ($P < 0.05$) [38]. Tükek and Alibeyoğlu reported that laboratory tests revealed a normal or decreased peripheral white blood cell count and increased lymphocyte count in these patients, together with increased liver enzymes, lactate dehydrogenase (LDH), muscle enzymes and myoglobin, as the disease can involve the muscles in some critical patients. Calcium and protein have been found to be increased. While high CRP and ESR levels were found in the majority of the patients, the procalcitonin level was normal. D-dimer is reported to increase and the peripheral blood lymphocytes to decrease in severe cases [12-14]. Leukopenia is seen in the patients and the decrease in lymphocyte count is noteworthy. Lactate dehydrogenase, creatine phosphokinase, and transaminases may be increased. In addition, most patients develop thrombocytopenia in time [39-40]. Increased ALT, AST, BUN, and creatinine have also been reported in addition to DIC and hemolysis [40]. Vitamin D, E, and C deficiency is also seen at high rates in severe cases. Vitamin D, known as a steroid hormone, is classified as vegetable-based ergocalciferol and animal-based calciferol (synthesized from 7-dehydrocholesterol with the effect of the sun rays on the skin). Ergocalciferol and calciferol are metabolized with the same metabolic pathways in the body [41].

Coronavirus nucleic acid testing is not the gold standard for detecting or eliminating new corona virus pneumonia mainly because of the lack of confirmation of many nucleic acid detection technologies despite their availability, the uncertain or unknown specificity and sensitivity, and the false negative results at a certain percentage as shown by the positive results on repeated tests in clinically positive patients who were initially negative with the test. All these factors are thought to be directly correlated with the amount of viral load [27, 38].

Treatment Methods

The best available treatment strategy for patients with Covid-19 is fully supportive. Clinicians and intensive care professionals apply most of what they have learned during the SARS outbreak to guide the current treatment of Covid-19. Admission recommendations to critical care units, guidelines for infection control, and procedures for minimizing hospital contamination are being created [42]. As an immune modulatory treatment method in the treatment of SARS-CoV, corticosteroids with anti-inflammatory and immunosuppressive effects ensure early recovery of fever. Ribavirin, which is a nucleoside analogue used in treatment, is the most administered agent with antiviral activity against many DNA and RNA viruses. Ribavirin blocks the viral replicase polyprotein and therefore stops RNA replication. Another method used in the treatment of SARS-CoV is the protease inhibitor. The lopinavir-ritonavir formulation, which is also used in the treatment of HIV

infection, can be used in combination with ribavirin in the early stages of the disease and may support the antiviral therapy [2, 11, 14, 20]. However, additional studies are required to develop new treatment methods such as additional antiviral treatments, anti-monoclonal antibody, and anti-viral peptides and vaccines, as well as the use of interferon and steroids in the treatment of immunemediated lung damage [43]. Consensus was reported to be present about administering low dose of corticosteroid and being careful in using antibiotics in the treatment in the studies conducted in China [23].

Conclusion

The new type of coronavirus has caused major concerns worldwide due to its global spread. According to current analyses, patients with hypertension, cardiovascular disease, diabetes, kidney disease, and chronic obstructive pulmonary disease, in addition to smokers are the groups that most commonly require hospitalization. Pregnancy and old age are the other risks that must be monitored [44, 45].

Ultimately, novel coronaviruses are likely to emerge periodically in humans because of frequent cross-species infections and occasional spill over events, given the high prevalence and wide distribution of coronaviruses, the large genetic diversity, and frequent recombination of their genomes, and an increasing level of human-animal interaction. Urine dry chemical tests have the characteristics of being fast, useful, and economical, and can be used for biochemical parameters of urine, co-diagnosis

of urinary tract infections (UTI), diagnosis of kidney diseases and monitoring therapeutic effects. The effect of glycan interactions should not be overlooked in drug and vaccine development. SARS-CoV-2 and Sars-CoV-2 small changes in conformation and sequence can lead to differences in the affinity of spike proteins to the ACE2 protein. These structural and biochemical findings will provide preliminary information in mutation studies, inhibitor design, and vaccine research [27, 46].

In addition, structural information about the conformational change of protein complexes as the virus enters the human cell through membrane fusion will also guide the development of molecular strategies to prevent this [23, 46, 47].

All national scientific institutions, research universities, and hospitals should develop a diagnosis and treatment process based on changes in the status of the epidemic in all areas and the constant updates on the new coronavirus pneumonia. The process is dynamic and new

discoveries and changes can occur at any time. It is extremely important for all health care institutions to monitor the disease and share information worldwide. It is also mandatory to follow the global situation and make appropriate and correct decisions according to the changes in the epidemiology, while also updating the information provided to the employees.

Acknowledgments -

Funding/Financial Disclosure The authors have no received any financial support for the research, authorship, or publication of this study.

Ethics Committee Approval and Permissions -

Conflict of Interests The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors Contribution All authors have contributed sufficiently in the planning, execution, or analysis of this study to be included as authors. All authors read and approved the final manuscript.

References

- [1] Hoşbul, T., & Şahiner, F. (2020). Genomic and biologic characteristics of SARSCoV-2 and other coronaviruses. *Journal of Molecular Virology and Immunology*, 1(1), 18-29. <https://doi:10.46683/jmvi.2020.2>
- [2] Haksözü, M., Kılıç, S., & Saraç, F. (2020). Coronaviruses and SARS-COV-2. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 50, 549-556. <https://doi:10.3906/sag-2004-127>
- [3] Inal, S. (2016). Middle East respiratory syndrome-coronavirus (MERS-CoV) enfeksiyonu: Ortadoğu solunum yetmezliği sendromu-koronavirüs enfeksiyonu. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 32, 37-45. <https://doi:10.5222/otd.2016.037>
- [4] Chan, P., & Chan, M. C. (2013). Tracing the SARS-coronavirus. *Journal of Thoracic Disease*, 5(2), 118-21. <https://doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2013.06.19>
- [5] Ksiazek, T. G., Erdman, D., Goldsmith, C. S., Zaki, S. R., Peret, T., Emery, S., Tong, S., Urbani, C., Comer, C. J., Lim, W., Rollin, P. E., Dowell, S. F., Ling, A. E., Humphrey C. D., Shieh W. J., Guarner,

- J., Paddock, C. D., Rota, P., Fields, B., DeRisi, J., Yang, J. Y., Cox, N., Hughes, J. M., LeDuc, J. W., Bellini, W.J., & Anderson L. J. (2003). A novel coronavirus associated with severe acute respiratory syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 348,1953-1966.
- [6] Peiris, J. S., Lai, S. T., Poon, L. L., Guan, Y., Yam, L. Y. C., Lim, W., Nicholls, P. J., Yee, W. K. S., Yan, W. W., Cheung, M. T., Cheng, V. C. C., Chan, K. H., Tsang, D. N. C., Yung, R. W. H., Ng, T. K., & Yuen, K. Y. (2003). Coronavirus as a possible cause of severe acute respiratory syndrome. *Lancet*, 361, 1319-1325. [https://doi:10.1016/s0140-6736\(03\)13077-2](https://doi:10.1016/s0140-6736(03)13077-2)
- [7] McIntosh, K., & Peiris, J. (2009). *Coronaviruses*. Richman, D., Whitley, R., Hayden, F. (editors). Clinical Virology, 3. Press, 1155-1171.
- [8] Lurie, N., Saville, M., Hatchett, R., & Halton, J. (2020). Developing Covid-19 vaccines at pandemic speed. *The New England Journal of Medicine*, 382, 1969-1973. <https://doi:10.1056/NEJMp2005630>
- [9] Akbaba, M., Kurt, B., & Nazlıcan, E. (2014). Yeni koronavirüs salgını. *Turkish Journal of Public Health*, 12(3), 217-227. <https://doi.org/10.20518/thsd.22944>
- [10] Wu, C., Chen, X., Cai, Y., Xia, J., Zhou, X., Xu, S., Huang, H., Li Zhang, L., Xia Zhou, X., Du, C., Zhang, Y., Song, J., Wang, S., Chao, Y., Yang, Z., Xu, J., Zhou, X., Chen, D., Xiong, W., Xu, L., Zhou, F., Jiang, J., Bai, C., Zheng, J., & Song, Y. (2020). Risk factors associated with acute respiratory distress syndrome and death in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia in Wuhan, China. *JAMA internal medicine*, 180(7), 934-943. doi:10.1001/jamainternmed.2020.0994
- [11] Smith, J. A., & Judd, J. (2020). COVID-19: Vulnerability and the power of privilege in a pandemic. *Health Promotion Journal of Australia*, 31(2), 158-160. <https://doi.org/10.1002/hpja.333>
- [12] Wang, W., Liu, Z., Chen, Z., Huang, X., Xu, M, He, T., & Zhang, Z. (2020). The establishment of reference sequence for SARS-CoV2 and variation analysis. *Journal of Medical Virology*, 92(6), 667-674. <https://doi:10.1002/jmv.25762>
- [13] Emami, A., Javanmaridi, F., Pirbonyeh, N., & Akbari, A. (2020). Prevalence of underlying diseases in hospitalized patients with COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Academic Emergency Medicine*, 8(1), Article e35.
- [14]. Tükek, M., & Alibeyoğlu, A. M. (2020). *Olgularla Covid-19(1)*. İstanbul Tıp Kitabevi.
- [15] Lu, R., Yu, X., & Wang, W. (2012). Characterization of human coronavirus etiology in Chinese adults with acute upper respiratory tract infection by real-time RT-PCR assays. *Plos One*, 7(6). <https://doi:10.1371/journal.pone.0038638>
- [16] Liu, Y., Gayle, AA., Wilder-Smith, A., & Rocklöv, J. (2020). The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of Travel Medicine*, 27(2), 1-4. <https://doi:10.1093/jtm/taaa021>
- [17] Memish, Z. A., Zumla, A. I., & Assiri, A. (2013). Middle East respiratory syndrome coronavirus infections in health care workers. *The New England Journal of Medicine*, 369(9), 884-886. <https://doi:10.1056/NEJMc1308698>
- [18] Patel, A., & Jernigan, D. B. (2020). Initial public health response and interim clinical guidance for the 2019 Novel Coronavirus Outbreak-United States. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(5), 140-146. <https://doi:10.15585/mmwr.mm6905e1>

- [19] McIntosh, P. S. (2015). Coronaviruses, including Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) and Middle East Respiratory Syndrome (MERS) In: Bennett JE, Dolin R, Blaser MJ (eds). *Principles and Practice of Infectious Diseases*. 8th Edition. Philadelphia: Elsevier-Saunders, 1928-1936.
- [20] Shng, J., Ye, G., Shi, K., Wan, Y., Luo, C., Aihara, H., Geng, Q., Auerbach, A., & Li, F. (2020). SARS-CoV-2 tarafından reseptör tanımanın yapısal temeli. *Doğa*, 581, 221-224.
- [21] Li, G., Fan, Y., & Lia, Y. (2020). Coronavirus infections and immune responses. *Journal of Medical Virology*, 92(4), 424-432. <https://doi:10.1002/jmv.25685>
- [22] Shang, J., Ye, G., & Wan, Y. (2020). Structural basis of receptor recognition by SARS-CoV-2. *Nature*, 581, 221-224. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2179-y>
- [23] Zhang, X., Cai, H., Hu, J., Lian, J., Gu, J., Zhang, S., Ye, C., Lu, Y., Jin, C., Yu, G., Jia, H., Zhang, Y., Sheng, J., Li, L., & Yang, Y. (2020). Epidemiological, clinical characteristics of cases of SARS-CoV-2 infection with abnormal imaging findings. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 81-87.
- [24] Zeng, W, Liu, G., & Ma, H. (2020). Biochemical characterization of SARSCoV-2 nucleocapsid protein. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 527(3), 618-623. <https://doi:10.1016/j.bbrc.2020.04.136>
- [25] D'Amico, F., Baumgart, D. C., Danese, S., & Peyrin-Biroulet, L. (2020). Diarrhea during COVID-19 infection: pathogenesis, epidemiology, prevention and management. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 18(8), 1663-1672. <https://doi:10.1016/j.cgh.2020.04.001>
- [26] Hamming, I., Timens, W., Bulthuis, M. L., Lely, A. T., Navis, G., & Van Goor, H. (2004). Tissue distribution of ACE2 protein, the functional receptor for SARS coronavirus. A first step in understanding SARS pathogenesis. *The Journal of Pathology*, 203(2), 631-637. <https://doi:10.1002/path.1570>
- [27] Liu, F., Xu, A., Zhang, Y., Pan, K., Yu, W., & Zhang, J. (2020). Patients of COVID-19 may benefit from susutained Lopinavir combined regimen and the increase of Eosinophil may predict the outcome of COVID-19 progression. *International Journal of Infectious Diseases*, 95, 183-191. <https://doi:10.1016/j.ijid.2020.03.013>
- [28] Netland, J., Meyerholz, D. K., Moore, S., Cassell, M., & Perlman, S. (2008). Severe acute respiratory syndrome coronavirus infection causes neuronal death in the absence of encephalitis in mice transgenic for human ACE2. *Journal of Virology*, 82(15), 7264-7275. <https://doi:10.1128/JVI.00737-08>
- [29] Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zha, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, GF., & Tan, W. (2020). A novel coronavirus from patients with pneumonia in China. *The New England Journal of Medicine*, 382,727-733.
- [30] Malı, Y. A. (2020). Properties of Coronavirus and SARS-CoV-2. *The Malaysian Journal of Pathology*, 42(1), 3-11.
- [31] Ahmed, T., Noman, M., Almatroudi, A., Shahid, M., Hurşid, M., Tarik, F., Tahir, M., Qamar, T., Yu, R., & Li, B. (2020) Coronavirus disease 2019 associated pneumonia in China: Current status and future prospects. Basel, Switzerland: Preprints Organization, <https://doi.org/10.20944/preprints202002.0358.v3>.
- [32] Güven, A., Gülmez, M., Beytut, E., & Erişir, M. (2003). Aterosklerotik farelerde kefir ve yoğurdun lipid peroksidasyonuna ve antioksidan enzimlere etkisi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 9(1), 79-83.

- [33] Güven, A., & Alkış, K. (2018) Hiperkolesterolemi oluşturulmuş farelerde kefir ve simvastatin etkilerinin araştırılması. *Caucasian Journal of Science*, 5(2), 11-16.
- [34] Kamiloğlu, N. N., Beytut, E., Güven, A., & Altınsaat, Ç. (2006). Changes in the erythrocyte antioxidant system of off spring of dams treated with vitamin A and b-carotene during gestatio. *Small Ruminant Research*, 65, 142-148.
- [35] Şanlı, K. (2020). Influenza virüsü ve domuz gribi. *Jinekoloji Obstretrik Pediatri Dergisi*, 2(1), 4-12.
- [36] Karamese, M. (2014). *Adenovirus ile obezite arasındaki ilişkinin invitro olarak incelenmesi*. (Tez no.379429) [Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi].
- [37] Çapan, N., Canbakan, S., Yeşiler, İ., Ertürk, A., Ofluoğlu, R., Şimşek, A., Çakmak, S., & Şipit, T. (2013). Influenza A (H1N1) virus enfeksiyonlu on olgunun klinik özellikleri. *Solunum*, 15(2), 115-119. <https://doi:10.5152/solunum.2013.021>
- [38] Liu, R., Ma, Q., Han, H., Su, H., Liu, F., Wu, K., Wang, W., & Zhu, C. (2020). The value of urine biochemical parameters in the prediction of the severity of coronavirus disease 2019. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 58(7), 1121-1124. <https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0220>
- [39] Şimşek Yavuz, S. (2020). *Yeni Koronavirus (2019-nCoV) İnfeksiyonlarının Epidemiyolojisi ve Klinik Seyri*. <https://www.klimik.org.tr/koronavirus/wp-content/uploads/2020/03/2019-nCoV.pdf>
- [40] Şengöz, G. (2013). *MERS-CoV Middle East Respiratory Syndrome CoronaVirus*. <https://www.klimik.org.tr/wpcontent/uploads/2013/10/MERSCoV.pdf>.
- [41] Karadağ, G., & Koçyiğit, M. (2019). Vitamin E. D synthesis absorption and metabolism. Yurttagül SM, Editor. Vitamin D. 1st Edition. Ankara: *Turkey Clinics* 1-5.
- [42] Ak, Ö. (2020). Soğuk Algınlığından Ölümcül Salgına! Küresel Kâbus. *Bilim ve Teknik Dergisi, Mart 2020, sayı: 628*, 13-27.
- [43] Al-Hazmi, A. (2016). Challenges presented by MERS corona virus, and SARS corona virus to global health. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(4), 507-511. <https://doi:10.1016/j.sjbs.2016.02.019>
- [44] Khan, N., & Fahad, S. (2020). Critical review of the present situation of Corona virus in China. Available at SSRN 3543177. https://papers.ssrn.com/sol3/pape rs.cfm?abstract_id=3543177
- [45] Rabi F. A., Al Zoubi, M. S., Kasasbeh, G. A., Salameh, D. M., & Al-Nasser, A. D. (2020). SARS-CoV-2 and coronavirus disease 2019: What we know so far. *Pathogens*, 9, 231, 1-14. <https://doi:10.3390/pathogens9030231>
- [46] Lan, J., Ge, J., Yu, J., Shan, S., Zhou, H., Fan, S., Zhang, Q., Shi, X., Wang, Q., Zhang, L., & Wang, X. (2020). Crystal structure of the 2019-nCoV spike receptorbinding domain bound with the ACE2 receptor. *BioRxiv*, <https://doi:10.1101/2020.02.19.956235>. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.02.19.956235v1>
- [47] Jin, Z., Du, X., Xu, Y., Deng, Y., Liu, M., Zhao, Y., Zhang, B., Li, X., Zhang, L., Peng, C., Duan, Y., Yu, J., Wang, L., Yang, K., Liu, F., Jiang, R., Yang, X., You, T., Liu, X., Yang, X., Bai, F., Liu, H., Liu, X., Guddat, L.W., Xu, W., Xiao, G., Qin, C., Shi, Z., Jiang, H., Rao, Z., & Yang, H. (2020). The crystal structure of COVID-19 main protease in complex with an inhibitor N3. PDB: 6LU7. *Nature*, 582, 289-293. <https://doi:10.1038/s41586-020-2223-y>



Geleneksel ve Yenilikçi Paketleme Teknolojileri: Balıketi Muhafazasında Potansiyel Kullanımı

Nazan KUTLU¹, Zafer CEYLAN², Mehmet Mustafa EKİN³ ve
 Raciye MERAL⁴

How to cite: Kutlu, N., Ceylan, Z., Ekin, M. M., & Meral, R. (2021). Geleneksel ve yenilikçi paketleme teknolojileri: Balıketi muhafazasında potansiyel kullanımı. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 78-94. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.754521>

Derleme

Sorumlu Yazar
 Nazan KUTLU
 n.kutlu@yahoo.com

Yazarlara ait ORCID
 N.K.: 0000-0002-2225-6600
 Z.C.: 0000-0002-6527-4382
 M.M.E: 0000-0002-4239-0735
 R.M: 0000-0001-9893-7325

Received: 18.06.2020
Accepted: 05.02.2021

Öz

Gıdaların üreticiden tüketiciye ulaştırılması sürecinde ürünün tazeliğinin ve besin değerinin korunması oldukça önemlidir. Bu amaçla geçmişten günümüze kadar çeşitli muhafaza yöntemleri kullanılmaktadır. Paketleme teknolojisi de bu muhafaza yöntemlerinden biri olup ürünlerin raf ömrünün güvenli bir şekilde artırılması amaçlanmaktadır. Geleneksel paketleme yöntemleri (adi paketleme, vakum paketleme, modifiye atmosfer paketleme, sous-vide paketleme) sadece ürünü korumayı hedef almaktaydı. Gelişen teknoloji ile birlikte tüketiciyi bilgilendirme, ambalaja fonksiyonel özellik kazandırma, çevreye daha az zarar veren ambalaj materyali geliştirme gibi konuların da önem kazandığı yenilikçi paketleme yöntemleri (akıllı paketleme teknolojisi ve nanoteknoloji tabanlı paketleme teknolojisi) geliştirilmiştir. Balıketi çoklu doymamış yağ asidi bakımından zengin olduğundan lipid oksidasyonu balığın duyu ve besinsel kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca mikrobiyal bozulmalar da su ürünlerinin besinsel değerini düşürmektedir. Bu olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ve bozulmanın geciktirilmesi amacıyla su ürünlerinin muhafazasında geleneksel ve yenilikçi paketleme yöntemleri tek başına veya başka bir paketleme yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır. Bu derlemede geleneksel ve yenilikçi paketleme yöntemleri ve bunlarla ilgili uygulamalar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Balıketi muhafazası, raf ömrü, geleneksel paketleme yöntemleri, yenilikçi paketleme yöntemleri

Traditional and Innovative Packaging Technologies: Potential Use in Fish Meat Storage

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
 Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda
 Mühendisliği ABD, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
 Turizm Fakültesi, Gastronomi ve
 Mutfak Sanatları Bölümü, Van,
 Türkiye

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
 Özalp Meslek Yüksekokulu, Gıda

Abstract

It is very important to preserve the freshness and nutritional value of the product during the delivery of food from the producer to the consumer. For this purpose, various preservation methods have been used from past to present. Packaging technology is one of these preservation methods by which it is aimed to increase the shelf life of products safely. Traditional packaging methods (plain packaging, vacuum packaging, modified atmosphere packaging, sous-vide packaging) only aim to protect the product. With the developing technology, innovative packaging methods (smart packaging technology and nanotechnology-based packaging technology) have been developed, where issues such as informing the consumer, providing functional properties to the packaging, developing

Teknolojisi Programı, Van, Türkiye	packaging materials that are less harmful to the environment are also important. Since fish is rich in polyunsaturated fatty acids, lipid oxidation negatively affects the sensory and nutritional quality of fish. In addition, microbial spoilage also reduces the nutritional value of seafood. In order to minimize these adverse effects and delay spoilage, traditional and innovative packaging methods are used alone or in combination with another packaging method for the preservation of seafood. In this review, it is aimed to give information about traditional and innovative packaging methods and their applications.
⁴ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği ABD, Van, Türkiye	
Bu çalışma Creative Commons Attribution 4.0 International License ile lisanslanmıştır	
	Keywords: Fish meat storage, shelf life, traditional packaging methods, innovative packaging methods

Giriş

Son yıllarda, ülkelerin gelişme düzeyinin artışı insanları sağlıklı beslenmeye ve buna bağlı olarak daha özenli gıda seçimine yönlendirmiştir. Bu gıdalar içerisinde balık ve diğer su ürünleri öne çıkmaktadır. Bunun en önemli nedenleri; su ürünlerin yüksek oranda çoklu doymamış yağ asidi içermesi, et kalitelerinin ve besin değerlerinin yüksek olması şeklinde sıralanabilir. Fakat balık eti; uygun olmayan proses ve depolama koşullarında, kimyasal bileşimi nedeniyle hızlı bozulma göstermektedir [1, 2].

Ülkemizde kıyı bölgelerinde avlanma yapıldığından, balıkların büyük bir kısmı avlandığı bölgede taze tüketilmektedir. Su ürünlerinin; avlanma bölgesinin dışındaki bölgelere ulaştırılmasında kalitelerinin korunması sağlanmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için çeşitli muhafaza yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir [3].

Bir ürünün raf ömrünü ele aldığımızda; ürünün işleme sırasındaki tüm basamakları göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Paketleme işlemi de bunlardan biridir. Bu durumda ürünün işlenmesi sırasında paketleme yönteminin seçimi oldukça önemli bir husustur.

Ürünün raf ömrü belirlenirken ilk olarak mikrobiyolojik güvenlik kontrolü yapılmalı ve bununla birlikte kimyasal ve duyu kalite özellikleri birlikte değerlendirilmelidir. Birçok gıda ürünüde, proses aşamasında ürünün önceden bilinen özellikleri raf ömrünün belirlenmesinde yol gösterici niteliktedir. Bu özellikler; ürünün besinsel bileşimi gibi iç faktörler, çevreden kaynaklı dış faktörler ve bu ikisinin birlikte oluşturduğu kombinasyon olarak belirtilebilir. Bunlar raf ömrünü kısıtlayıcı faktörlerdir. Paketlenmiş ürünler, dış faktörlerden önemli ölçüde etkilenirler. Uygulanan paketleme yöntemi ile birden fazla faktörün kontrol altına alınmasıyla (ışık ve havanın tamamen engellenmesi gibi), bu işlem tek başına raf ömrünü uzatabilir, aksi halde yeterli olmayabilir. Bazı durumlarda iç ve dış faktörler arasında; kimyasal/biyokimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel reaksiyonların oluşumu raf ömrünü sınırlandırır. Bazı durumlarda ise bu etkileşimler, üründe istenilen özelliklerin oluşmasını da sağlayabilmektedir [4].

İnsanlar hem sağlık hem de görünüm açısından açık halde satışa sunulan gıdalardan ziyade paketlenmiş gıdaları tercih etmektedirler. Yaşadığımız çevrede insan sayısının artması

sonucu gıda kaynaklarında yetersizlikler kendini göstermeye başlamıştır. Bu yetersizlikler farklı gıdalara olan ihtiyacı oluşturmaktadır. Gıdalarda çeşitliliğin artması, sadece hammadde açısından değil ambalaj materyali açısından da önemli hale gelmiştir [5].

Dünya nüfusunun hızla artması ve gelişen teknolojiler su ürünlerinin çeşitli yöntemlerle tüketiciye sunulmasını gerektirmektedir. Bu anlamda günümüze kadar çok sayıda paketleme teknolojisi geliştirilmiş ve bu teknolojiler ile balıkentinin daha uzun süre ve güvenli bir şekilde saklanması hedeflenmiştir. Uzun yıllardır kullanılan geleneksel paketleme yöntemlerine ilaveten, akıllı ambalajlar, yenilebilir filmler ve nanoboyuttaki liflerle ve/veya partiküller içeren ambalaj kullanılarak yapılan ambalajlamalar da balıkentinin muhafazasında önem kazanmaya başlamıştır. Bu çalışmada, balıketi muhafazasında kullanılan geleneksel ve yenilikçi paketleme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Geleneksel Paketleme Teknolojileri

Adi Paketleme

Elle veya basit makinelerle, besin maddesinin çevresinin bir paketleme maddesi ile sarılması işlemidir. Besin maddeleri paketlenen miktarda tartılıp ayrılarak paketleme maddesinin içine konular ve ağzı kapatılır. Paketlemeden istenilen sonucun alınması paketleme maddesinin cinsine ve paket içinde kalan hava miktarına bağlıdır [5]. Adı paketleme, hızlı uygulanan ve oldukça düşük maliyetli bir yöntemdir. Fakat üründe

oksidasyona bağlı renk değişiminin kısa sürede gerçekleşmesi, mikrobiyal açıdan bozulma, nem ve pH'da istenmeyen değişimlerin en hızlı şekilde meydana gelmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır [6].

Vakum Paketleme (VP)

VP yöntemi, düşük maliyetli olduğundan sıklıkla kullanılan alternatif bir paketleme yöntemidir. Özellikle yağlı balıkların paketlenmesinde avantaj sağlamaktadır. Çünkü yağlı balıklar O₂ varlığında kolayca otooksidasyona uğrayabilmektedir. VP yöntemi ile ortamda bulunan O₂'nin minimum düzeyde tutulması balığın kalitesini korumakta (özellikle balıketi renginin uzun süre muhafazası) ve raf ömrünü arttırmaktadır [7-10].

VP, gaz geçirimsiz veya amaca göre belirli düzeyde gaz geçirgenliğine sahip bir ambalaj içerisindeki havanın vakum yoluyla uzaklaştırılması ve yerine herhangi bir gaz doldurulmadan paketin kapatılması işlemi kapsayan bir tür pasif MAP yöntemidir.

VP yönteminde paket içerisinde az da olsa O₂ kalabilir. Fakat pakette kalan O₂ kısa sürede aerobik mikroorganizmalarca kullanılır ve CO₂ üretilir. Bu tip ürünlerde, paket içerisinde O₂ bulunmadığından mikroorganizmaların gelişimi ve ürünlerin oksidasyona bağlı bozulması önlenmiş olunur [9, 11].

Ambalaj içerisinde O₂ miktarının %0.1'den düşük bir seviyeye indirilmesi iyi bir VP gerçekleştirildiğinin göstergesidir. Ancak VP'de anaerobik mikroorganizma riski bulunmaktadır. VP yöntemi soğutma veya

dondurma yöntemleri ile kombine edilirse bu riski ortadan kaldırmak mümkün olabilir [12].

Modifiye Atmosfer Paketleme (MAP)

MAP, paket içerisindeki havanın uzaklaştırılıp bunun yerine bir veya birden fazla gazın eklenmesi prensibine dayanan bir paketleme yöntemidir. MAP yöntemi için iz gaz olarak, karbonmonoksit (CO), nitrözoksit (N₂O), nitrik oksit (NO), sülfür dioksit (SO₂), etan (C₂H₆) ve klor (Cl) gibi gazların kullanılması önerilse de maliyet açısından çoğunlukla karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve nitrojen (N₂) gazlarının kullanımı tercih edilmektedir. Bu gazların kullanılmamasının başlıca nedenleri: güvenlik sorunu, tüketicinin üründe istememesi, yasal kullanım miktarları şeklinde sıralanabilir. CO₂ gazı bakteri ve mantarların gelişimini engelleyici etkiye sahip olduğundan; su ürünlerinde MAP uygulamasında kullanılan en önemli gazdır. Bu engelleme paket içerisinde bulunan CO₂ konsantrasyonunun yükseltilmesine bağlı olarak artış göstermektedir. Fakat paket atmosferinde çok fazla CO₂ konsantrasyonu, balık derisinin gaza maruz kalan yüzeyinin beyazlamasına, balık etinde aşırı su kaybının oluşmasına ve balıkta duyusal yönden köpüğümsü bir tadın meydana gelmesine neden olmaktadır. N₂ gazının MAP yönteminde kullanımının en önemli nedenleri; basıncı giderici bir doldurucu (filler) gaz olması ve ürünün ezilme ve/veya yapışma problemlerini ortadan kaldırarak paket bütünlüğü sağlamasıdır. O₂ gazı su ürünlerinin rengini korumakta, beyaz etli ürünlerde su kaybını azaltmaktadır; fakat

yağlı balıklarda oksidasyonu artırıcı etkisinden dolayı kullanımı tercih edilmemektedir [10].

1920-1930'lu yıllarda MAP yönteminin kullanımı üzerine; meyve, sebze, su ürünleri ve kırmızı ette raf ömrünü arttırmayı amaçlayan temel çalışmalar yapılmıştır [13].

MAP, yüksek kalitede ürün sağlamanın yanı sıra, raf ömrünü arttırmak suretiyle ekonomik kayıpları azaltması, ürünlerin daha uzun mesafelere dağıtılmalarına olanak sağlaması ve dağıtım masraflarını azaltması, daha az kimyasal ajan kullanımını desteklemesi, dilimlenmiş ürünlerin ayırımını kolaylaştırması, kokusuz ve kullanışlı ambalajlamaya izin vermesi gibi birçok avantaja sahiptir. Bununla beraber ek maliyet ve sıcaklık kontrolü gerektirmesi, her ürün için farklı gaz kompozisyonlarının oluşturulması, taşıma esnasında paketlerde meydana gelebilecek yırtılma delinme gibi fiziksel zararların gaz kompozisyonunu değiştirmesi dolayısıyla ürün güvenliğinin bozulması gibi dezavantajları da bulunmaktadır [14].

MAP yöntemi ile gıdalarının muhafazasında dört farklı yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- VP,
- Paket içerisine belirli gaz karışımının doldurulması (aktif yöntem),
- Pasif yöntem ve
- Atmosfer modifiye edicilerin kullanılmasıdır [9].

Pasif yöntem ile MAP uygulamasında, gıda ürünü uygun bir materyal ile paketlenmekte ve sonrasında paket içinde yer alan gazlar ürünün solunumu ile kendiliğinden bir dengeye

ulaşmaktadır. Buna bağlı olarak; pasif yöntemin aktif yöntemle göre daha yavaş bir paketleme yöntemidir. Fakat maliyeti daha düşük olduğundan özellikle son yıllarda, hızlı bozulma gösteren meyve ve sebzelerin paketlenmesinde geçirgen materyal kullanımıyla uygulanmaktadır [8].

Atmosfer modifiye (absorbe) edicilerin kullanılması, VP gıda ürününün kalitesini koruduğu ve raf ömrünü uzattığı halde, bu yöntem uygulanarak paketlenen ürünlerde pakette kalan az miktarda O₂'e bağlı olarak hala aerobik bozulma meydana gelebilir. Yapılan çalışmalarda aerobik mikroorganizmaların % 1-2 düzeyinde O₂ bulunan ortamda gelişebildikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu mikroorganizmalar CO₂ seviyesinin yükseltildiği ortamlarda da gelişebilmektedir. VP yöntemi uygulanan gıda ürünlerinde aerobik mikroorganizmaların gelişimini tamamen inhibe edebilmek için ek kontrol metotları gereklidir. Ek kontrol metotlarından biri olan O₂ absorbe edicilerin kullanımı Japonya'da geliştirilmiştir. Bu yöntemde atmosfer modifiye ediciler paket içerisine yerleştirilir. Ambalaja yerleştirilen bu atmosfer modifiye ediciler, paket içerisindeki atmosferde bulunan O₂'i veya etileni absorbe ederek, CO₂ ya da etanol üretir ve böylece arzu edilen gaz kompozisyonunun oluşmasını sağlar [8, 13].

Sous-Vide Paketleme (SV)

SV paketleme yöntemi, sıcaklığın kontrol edildiği koşullarda, gıdaların vakumlu ambalajlarda pişirilmesi işlemidir. Bu yöntemle gıda ürünü katkısız ya da sos-baharat gibi

katkılarla birlikte vakum ambalaj içerisinde pişirilir [15]. SV teknolojisinde gıda ürünü, ısıya dayanıklı plastik paketlere konular ve vakumlama işlemi yapıldıktan sonra paket kapatılır. Vakumlanmış paket, sıcaklığın kontrol edildiği ve içinde su dolaşımının olduğu pişirme kabına konularak uygun sıcaklık-süre parametresine göre pişirilir. Pişirme işleminden sonra ürün su dolu kaptan çıkartılarak doğrudan, ızgara veya tavada kızartma işlemi uygulanarak servis edilir. SV yöntemi uygulanan ürünlerin tüketimi iki şekilde olabilmektedir. Bu işlemlerden biri; vakum ambalajlama, pastörize etme, tüketim için hazırlama ve servis etme aşamalarından oluşan pişirme-servis (cookserve/hold)'dir. Diğer tüketim şekli ise; vakum ambalajlama, pastörize etme, hızlı soğutma, soğukta depolama, tüketim öncesi ısıtma, tüketim için hazırlama ve servis etme aşamalarından oluşan pişirme-soğutma (cook-chill/freeze)'dir [16].

SV paketleme yönteminde, geleneksel pişirme işleminde kullanılan sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklar (genellikle 100°C'nin altında) ve daha uzun pişirme süreleri kullanılır. En düşük sıcaklıklar balık ve et pişirmek için kullanılırken (örneğin 70°C'nin altında), sebzeleri pişirmek için daha yüksek sıcaklıklar kullanılmaktadır (örneğin 95°C). Hassas ürünler veya sıcak sos içeren ürünler tam olarak vakumlanamaz. Bu durumun bir sonucu olarak; ambalajda kalan hava miktarı, ambalajın içindeki ürün çeşidine bağlı olarak farklılık göstermektedir [15].

SV teknolojisi ile su ürünlerinin doymamış yağ asidi ve vitamin değerleri korunmaktadır. Patojen bakteriler su ürünlerinin bozulmasına neden olmakta ve ürünün hem sağlık hem de finansal açıdan kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle ürüne uygulanacak işleme karar verilirken patojen bakterilerin etkilerinin ortadan kaldırılması hususuna da dikkat edilmelidir. Düşük sıcaklıklarda pastörizasyon işlemi gıdaları güvenli hale getirebilmektedir. SV teknolojisinde sabit ısı uygulaması ile su ürünlerinin, tat ve besin değerlerinin korunarak raf ömrünün uzatıldığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. SV paketleme yöntemi uygulanan su ürünlerinin raf ömrü; geleneksel yöntemlerden olan fırında pişirme, buharda pişirme ve bunun gibi işlemlere tabii tutulan ürünlerin raf ömründen daha uzundur. Bununla birlikte SV paketleme yöntemi ile pişirilen su ürünleri diğer geleneksel pişirme yöntemleri uygulanan ürünlere göre; daha iyi mikrobiyolojik, kimyasal, besinsel ve duyu kaliteye sahip olmaktadır [17].

SV paketlemenin uygulanan işlem basamakları pratik olduğundan bu yöntemin kısa sürdüğünü ve fazla iş gücü gerektirmediğini söyleyebiliriz. Bu yöntem tüketici açısından servise hazır ürün sunmayı sağlamaktadır. SV ile ambalaj içindeki O₂ miktarı düşürüldüğünden bakteri faaliyetleri önlenmiş olmaktadır. Bu yöntem ile ürünler; baharat, yağ ve farklı soslar ile çeşitlendirilebilir. SV paketleme yönteminin bu avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. SV

yöntemindeki işlem basamakları alet ve ekipman kullanımı gerektirdiğinden işletme maliyetini arttırıcı bir uygulamadır. SV uygulaması yapılan ürünlerde sıkı bir soğuk zincir takibi yapılmalıdır. Uygulanacak sıcaklık ve sürenin yetersiz olması *C. botulinum*'ün toksik etki oluşturmasına neden olabilmektedir [18].

Bu dezavantajlara ilaveten SV teknolojisinde, ürünün konulduğu paket materyalinin yapımında kullanılan bileşenlerinin ısı işlem sırasında ürüne geçebileceği görüşü tartışılan bir konudur. Bu durum sadece SV paketleme yöntemi uygulanan ürünler için değil, yüksek sıcaklıkta uzun süre işlem gören balıklarda kansere neden olan benzopyren bileşiğinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir [17].

Tablo 1. Geleneksel paketlenme teknolojileri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Paketleme Metodu	Uygulanan Su Ürünü	Literatür
Adi Paketleme	Kahverengi alabalık (<i>Salmo trutta macrostigma</i>)	[6]
VP	Sardalya (<i>Sardina pilchardus</i>)	[19]
VP	Tirsi (<i>Alosa immaculata</i>)	[20]
MAP	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[21]
MAP	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[22]
MAP	Midye (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	[23]
MAP	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[24]
MAP	Hamsi (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	[25]
MAP	Sarı yüzgeçli ton balığı (<i>Thunnus albacares</i>)	[26]
MAP	Mezgit (<i>Merlangius merlangus</i>)	[27]
MAP	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[28]
MAP	Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	[29]
MAP	Yunus (<i>Coryphaena hippurus</i>)	[30]
MAP	Morina (<i>Gadus morhua</i>)	[31]
MAP	Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	[32]
SV	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) ve somon (<i>Salmo Salar</i>)	[33]
SV	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[34]
SV	Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	[35]
SV	Somon (<i>Salmo Salar</i>)	[36]
SV	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[37]
SV	Levrek (<i>Micropterus haiaka</i>) ve akya (<i>Lichia amia</i>)	[38]
SV	Somon (<i>Salmo Salar</i>)	[39]
SV	Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[40]
SV	Istakoz (<i>Homarus americanus</i>)	[41]
SV	Uskumru (<i>Scomber scombrus</i>)	[42]
SV	Siyah levrek (<i>Micropterus salmoides</i>)	[43]
SV	Arapayma (<i>Arapaima gigas</i>)	[44]
SV	Morina (<i>Gadus morhua</i>)	[45]
SV	Avrupa deniz levreği (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	[46]

Yenilikçi Paketleme Yöntemleri

Gıda muhafazası konusunun gelişimi ile birlikte; ambalaj ürünü koruma görevinin

dışında, tüketici açısından da önemli bir hal almıştır. Ambalaj materyali seçiminde tüketiciyi meraklandırma, cezbetme ve

tüketicie bilgi verme gibi faktörler önem kazanmıştır. Bunun bir sonucu olarak pasif ambalajlama yöntemleri günümüzde yerini aktif ve akıllı ambalajlama yöntemlerine bırakmıştır. Pasif ambalajlamada amaç sadece ürünü korumaktır. Aktif ve akıllı ambalajlama da ise ürünün korunmasının yanı sıra satılması, özelliklerinin iyileştirilmesi, çevresel atık değerlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, biyoplastik materyal teknolojileri, yenilebilir filmler ve kaplamalar, MAP teknolojileri, aktif ve akıllı paketleme teknolojileri gibi yenilikçi gıda ambalajlama yöntemlerine yönelik bilimsel çalışmalar önem kazanmıştır [47].

Literatürde yenilikçi ambalajlama yöntemleri ile ilgili birçok terim bulunmaktadır. Ancak bu terimlerin tam anlamıyla tanımları yapılamamıştır. Bu nedenle 1999-2001 yıllarında Avrupa’da akıllı ve aktif ambalajlama yöntemlerinin; ekonomik ve çevresel etkileri, güvenilirliğinin değerlendirilmesi, tüketici beklentilerinin ve yararlılıklarının tespitini kapsayan bir proje (ACTIPAK-FAIR CT98-4170) gerçekleştirilmiştir. Bu proje kapsamında aktif ve akıllı ambalajlama tanımı şu şekilde yer almıştır:

Aktif ambalajlama, ürünün mikrobiyolojik, kimyasal ve duysal kalitesinin korunması ve böylece raf ömrünün artırılması amacıyla ambalajlı ürünün ortamının değiştirilmesidir.

Akıllı ambalajlama; ambalajlı gıdanın taşınması ve depolanması sırasında maruz kaldığı şartları göstererek ürün hakkında bilgi veren sistemlerdir.

Aktif ambalajlama sistemlerinden biri olan antimikrobiyel ambalajlama, gıdanın canlı mikroorganizma miktarını azaltıp gıda güvenliğini sağlayan yeni bir ambalajlama yöntemidir. Gıdaların besin değerini koruyarak raf ömrünü güvenli biçimde artırmayı sağlayan ambalaj malzemeleri geliştirilmesi konusunda araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarında nanoteknolojiden de yararlanılmaktadır [47]. Bazı yenilikçi paketleme yöntemleri ile ilgili aşağıda detaylı bilgiler verilmiştir.

Nanoteknoloji Tabanlı Paketleme Teknolojileri

Nanoteknoloji, maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen işleme, ölçüm, tasarım, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalarla maddeye atom ve molekül seviyesinde gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen, yeni ve hızla gelişen bir bilim ve teknoloji alanıdır [48].

Gıda teknolojisinde, nanoteknojinin en fazla uygulandığı alan gıda ambalajlama olarak bilinmektedir. Özellikle gıdaların raf ömrü ve kalitesi açısından işlenmiş et ve su ürünleri ile taze meyve-sebzelerin ambalajlanmasında nanoteknoloji uygulamalarını içeren çalışmalar devam etmektedir [49].

Nanoteknoloji,

- Ambalaj malzemesinin bariyer özelliklerini geliştirmek amacıyla, nanopartiküller (SiO₂, montmorillonit vb.) sentetik polimer

ve/veya biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinin üretiminde kullanılarak, bariyer ve mekanik özellikleri daha iyi olan ambalajların geliştirilmesinde,

- Antimikrobiyal veya O₂ absorbe etme gibi aktif özelliklere sahip nanoparçacıklar (Ag, ZnO, TiO₂ vb.) kullanılarak aktif ambalaj malzemelerinin geliştirilmesinde,
- Gıdanın maruz kaldığı depolama koşullarını, küçük organik molekülleri, gazları ve mikroorganizma bulaşımını gösteren belirteçlerin üretiminde farklı nanopartiküller (Fe₂O₃, TiO₂ vb.) kullanılarak nanosensörlerin üretiminde,
- Ayrıca, akıllı ambalajların geliştirilmesinde kullanılabilir [14, 47, 50].

Nanoteknoloji tabanlı paketleme teknolojisi, raf ömrünü uzatmak için antimikrobiyalleri, antioksidanları, enzimleri, kokuyu ve nutrasötikleri serbest bırakmak için de uygulanabilir [51].

Gıda ambalajlamada, çevre dostu, gıdanın raf ömrünü arttıran, ürün kalitesi ve güvenliğini en iyi şekilde koruyan ambalaj malzemesi arayışı, nano-biyokompozit malzemelerin gelişmesini sağlamıştır. Nano-biyokompozitler; bitkisel veya hayvansal kaynaklı polisakkaritler, proteinler, lipidler gibi biyopolimer matrikslerin içerisine, dolgu malzemesi olarak nanopartikül ilave edilmesiyle elde edilmektedir. Biyopolimerlerin içerisine; kütlice %1-5 katmanlı silikat nano-partiküller ilave edilerek nano-biyokompozit materyalin, biyobozunur olma özelliği korunurken ambalaj malzemesi olarak kullanımını sınırlandıran zayıf yönleri iyileştirilmektedir [52].

Nanoteknolojinin uygulandığı diğer bir uygulama olan nanosensörler, toksin üreten ya da gıda zehirlenmesine yol açan mikroorganizmaları, sebep oldukları renk, kütle ve sıcaklık değişiklikleri ve moleküler tanıma sistemleri ile hızlı bir şekilde algılayabilmektedir. Örneğin; MAP yöntemi uygulanan, nano-TiO₂ ve nano-SnO₂ sensörleri yerleştirilen ambalajlarda mikrobiyal gelişme sonucu paketteki O₂ konsantrasyonu arttığında bu nanoparçacıklar polimer ortamındaki redoks boylarını ışığa duyarlı hale getirmekte ve paketteki sensör renginde ağarma görülmektedir [53-55]. Ambalajlar dışında nanotabanlı materyallerin direkt balıketine kaplandığı çalışmalar da günümüzde hızla artmaya başlamıştır.

Akıllı Paketleme Teknolojileri

American Heritage Dictionary'e göre akıllı sözcüğü, "Sağlam yargılama ve rasyonellik gösterme: akıllı bir karar; soruna akıllıca bir çözüm" olarak tanımlanmaktadır. Akıllı paketleme (AP) ise, ürünün raf ömrünü uzatma, ürün kalitesini artırma ve ürünün bozulması ile ilgili bilgi sağlama olanaklarına sahip paketleme yöntemi olarak tanımlanmaktadır [56].

Tüketicieye gıdanın güvenliği ve kalitesi hakkında bilgi veren AP yönteminde; gıdada raf ömrü süresince hissetme, izleme ve işaret etme özellikleriyle ürünün içinde veya dışındaki değişimin görülebilmesi, başka bir ifadeyle ürün kalitesi ile iletişim kurulabilmesi söz konusudur [57].

AP yönteminde sensörler ve indikatörler kullanılmaktadır. Bu sensörler:

- Gaz sensörleri,
- Floresan esaslı O₂ sensörleri,
- Biyosensörler,
- Nanosensörler.

İndikatörler:

- Tazelik indikatörleri
- pH değişimine duyarlı tazelik indikatörleri,
- N₂ gazına duyarlı tazelik indikatörleri,
- Hidrojen sülfüre (H₂S) duyarlı tazelik indikatörleri,
- Çeşitli metabolitlere duyarlı tazelik indikatörleri,
- Difüzyon bazlı indikatörler,
- Sızıntı indikatörleri,
- Patojen indikatörleri,
- Zaman ve sıcaklık indikatörleri,
- Kritik zaman ve sıcaklık indikatörleri,
- Enzimatik zaman ve sıcaklık indikatörleri,
- Polimer bazlı zaman ve sıcaklık indikatörleri.

Bunların yanı sıra barkodlar (çizgi kod) ve radyo frekansı tanımlama etiketleri (RFID) de AP yönteminde kullanılan sistemlerdir [57-59]. AP yönteminde kullanılan sensörler, ürünün tazeliği, üründe mikrobiyal bozulma olup olmadığı, oksidatif acılaşıma ve sıcaklığa bağlı değişmeler hakkında bilgi vermektedir. Sensörler ölçüm yapabilmek için gıdadan devamlı sinyal almalıdır. Sensörlerin büyük kısmı temel olarak reseptör ve çevirgeç birimlerinden oluşmaktadır. Reseptörler kaynak iletişimi ile alınan fiziksel ve kimyasal veriyi çevirgecin ölçebileceği enerjiye dönüştürürler.

Sensörler, elektriksel, optiksel, termal ve kimyasal olarak sinyalleri algılamaktadırlar [55].

Ambalajın içinde veya dışında bulunabilen indikatörler dış ortam şartları ve tepe boşluğu gazları sayesinde gıdanın kalitesi hakkında bilgi vermektedirler. Gıdanın ambalaj içinde muhafaza edildiği süre boyunca sıcaklık, mikrobiyal bozulma, ambalaj bütünlüğü, fiziksel şok, orjinallik gibi özelliklerinin korunması amacıyla çeşitli indikatörler kullanılmaktadır. Kullanılan indikatörlerin bir kısmı gıda ile reaksiyona girerken bir kısmı ise herhangi bir reaksiyona girmeden bilgi verebilmektedirler [60].

Barkod, farklı kalınlıktaki dik çizgi ve boşluklardan oluşan, verinin otomatik olarak ve hatasız bir şekilde farklı bir ortama aktarılması amacıyla kullanılan bir AP paketleme yöntemi belirteci dir. Ürünlerin tanımlanması nedeniyle 12 Avrupa Ülkesi kılavuzluğunda standart bir sistem geliştirilmiş ve EAN (Avrupa Mal Sistemi) kurulmuştur. Tüketim birimleri için “EAN-8” (8 haneli) ve “EAN-13” (13 haneli) olmak üzere 2 barkod sistemi kullanılmaktadır [57].

RFID etiketler, radyo dalgaları kullanılarak etiket okuma ve ürünü uzaktan izleme olanağı sağlayan bir teknolojidir. Çalışma prensibi; mikroçipler ürünlere yerleştirilir, fiziksel etkileşim yerine, ürünlerin kimliklerinin radyo dalgalarıyla okunması sağlanır. Sistem; etiket, anten, okuyucu, sorgulayıcı ve denetleyici olmak üzere beş temel bileşenden oluşmaktadır.

RFID etiketi; antene bağı bir mikroçip ve antenli bir okuyucudan oluşmaktadır. Mikroçipler; disk, cam kapsül, etiket şeklinde olabilmektedir. Etiketlerin zaman-sıcaklık indikatörü veya bir sensör ile birleştirilebildiği belirtilmektedir. Bu teknoloji, mağaza içi

güvenlik sistemlerinden stok takibine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bir RFID okuyucusuyla büyük bir deponun ortasında durup cihaz çalıştırıldığında stokta nelerin olup olmadığı aynı anda ekranda görüntülenebilmektedir [61]

Tablo 2. Yenilikçi paketlenme yöntemleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Paketleme Metodu	Uygulanan Su Ürünü	Literatür
Nanoteknoloji Tabanlı	Levrek (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	[62]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[63]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[64]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[65]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[66]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[67]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[68]
Nanoteknoloji Tabanlı	Uskumru (<i>Scomber scombrus</i>)	[69]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[70]
Nanoteknoloji Tabanlı	Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	[71]
Nanoteknoloji Tabanlı	Karides (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	[72]
Nanoteknoloji Tabanlı	Tilapia filets	[73]
Nanoteknoloji Tabanlı	Restructured fish surimi	[74]
Nanoteknoloji Tabanlı	Morina (<i>Gadus morhua</i>)	[75]

Sonuç

Paketleme yöntemlerinin balık eti muhafazası ile ilgili yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda paketlenmiş ürünün raf ömrü üzerine; ürün çeşidi, ambalaj türü, SV yöntemi için pişirme sıcaklığı ve süresi, MAP yöntemi için kullanılan gaz çeşidi ve oranları, nanoteknoloji tabanlı paketlenme yöntemi için kullanılan nanoparçacıklar ve tüm paketlenme yöntemlerinde ürünün depolama sıcaklığı gibi birçok faktörün etkili olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Genel olarak paketlenmiş

ürünlerin, herhangi bir işlem uygulanmayan ürünlere göre daha uzun raf ömrüne sahip olduğu görülmektedir. Tüketime hazır gıdalara olan talebin artması da paketlenmenin önemini artırmaktadır.

Sonuç olarak, su ürünlerinin besin değerinin korunarak raf ömrünün artırılması amacıyla uygun paketlenme yönteminin seçilmesi için daha fazla çalışma yapılması hem üretici hem de tüketici açısından faydalı olacaktır.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri Yazarlar bu çalışmanın araştırması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir mali destek almamışlardır.

Etik Kurul Onayı ve İzinler -

Kaynaklar

- [1] Kaya, Y., Duyar, A. H., & Erdem, M. E. (2004). Balık yağ asitlerinin insan sağlığı için önemi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 21(3-4), 365-370.
- [2] Hisar, Ş. A., Hisar, O., & Yanık, T. (2004). Balıklarda mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal bozulmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(3-4), 261-265.
- [3] Ufuk, D., & Sarımehtemoğlu B. (2016). Balık etinin muhafazasında soğutma ve dondurma yöntemleri. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13(2), 151-158.
- [4] Kaba, N., & Duyar, A. H. (2008). Antimikrobiyal paketleme. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 25(2), 181-185.
- [5] Oğuzhan, P., & Angış, S. (2008, Mayıs 21-23). Su Ürünlerinin paketlenmesi. Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, Türkiye.
- [6] Karakaya, E. (2013). *Farklı şekillerde paketlenmiş salmo trutta macrostigma (Dumeril, 1858)'nın 4±1°C'de raf ömrünün belirlenmesi.* (Tez no. 334610) [Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi].
- [7] Göktan, D. (1990). *Gıdaların mikrobiyal ekolojisi.* Ege Üniversitesi Basımevi, Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- [8] Ünlütürk, A., & Turantaş, F. (1998). *Gıda mikrobiyolojisi.* Sidas Medya Ltd. Şti.
- [9] Kılınç, B., & Çaklı, Ş. (2001). Paketleme tekniklerinin balık ve kabuklu su ürünleri mikrobiyal florası üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 18(1-2), 279-291.
- [10] Özoğul, Y., Özoğul, F., & Küley, E. (2006). Modifiye edilmiş atmosfer paketlemenin balık ve balık ürünlerine etkisi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23(1-2), 193-200.
- [11] Gülyavuz, H., & Ünlüsayın, M. (1999). *Su ürünleri işleme teknolojisi.* Hatiboğlu Yayıncılık.
- [12] Gökoğlu, N. (2019). Innovations in seafood packaging technologies: a review. *Food Reviews International*, 36(4), 340-366. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649689>
- [13] Smith, J. P., Ramaswamy, H. S., & Simpson B. K. (1990). Developments in food packaging technology. Part II: Storage aspects. *Trends in Food Science and Technology*, 1, 111-118. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(90\)90086-E](https://doi.org/10.1016/0924-2244(90)90086-E)
- [14] Karagöz, Ş., & Demirdöven, A. (2017). Gıda ambalajlamada güncel uygulamalar: modifiye atmosfer, aktif, akıllı ve nanoteknolojik ambalajlama uygulamaları. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(1), 9-21.
- [15] Schellekens, M. (1996). New research issues in sous-vide cooking. *Trends in Food Science and Technology*, 7(8), 256-262. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10027-3](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10027-3)

- [16] Baldwin, D. E. (2012). Sous vide cooking: a review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2011.11.002>
- [17] Ceylan, Z., & Şengör G. F. Ü. (2017). Sous vide teknolojisi ile muamele edilen balıkların kalite parametrelerinin incelenmesi. *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, 32(1), 8-20. <https://doi.org/10.18864/TJAS201702>
- [18] Leistner, L., & Gorris, L. G. M. (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science Technology*, 6, 41-45. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)88941-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)88941-4)
- [19] Özoğul, F., Polat, A., & Özoğul, Y. (2004). The effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on chemical, sensory and microbiological changes of sardines (*Sardina pilchardus*). *Food Chemistry*, 85, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.006>
- [20] Erdem, M. E., Koral, S., & Işıdan, S. (2017). Farklı paketleme yöntemlerinin tirsi (*Alosa immaculata*, Bennett, 1838) marinatlarındaki mikrobiyolojik ve biyojenik amin değişimlerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(2017), 404-414.
- [21] Hisar, Ş. A., Hisar, O., Kaya, M., & Yanık T. (2004). Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets. *International Journal of Food Microbiology*, 97, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.024>
- [22] Çaklı, Ş., Kılınç, B., Dinçer, T., & Tolasa, S. (2006). Comparison of the shelf lifes of map and vacuum packaged hot smoked rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*). *European Food Research and Technology*, 224, 19-26. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0283-3>
- [23] Turan, H., & Onay, R. T. (2015). Modifiye atmosfer paketleme uygulanan midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck 1819) buzdolabı (4±2°C) koşullarında raf ömrünün tespiti. *Journal of Food and Health Science*, 1(4), 185-198. <https://doi.org/10.3153/JFHS15018>
- [24] Oğuzhan, P., & Angiş, S. (2012). Effect of salting and packaging treatments on fresh rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets during storage at refrigerator temperatures. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18, 443-448.
- [25] Keskin, İ. (2019). *Farklı paketleme tekniklerinin hamsi (Engraulis encrasicolus L., 1758) marinatı üzerine uygulanabilirliği ve kalitelerinin incelenmesi* (Tez no. 575477). [Doktora tezi, Sinop Üniversitesi].
- [26] Silbande, A., Adenet, S., Smith-Ravin, J., Joffraud, J. J., Rochefort, K., & Leroi, F. (2016). Quality assessment of ice stored tropical yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and influence of vacuum and modified atmosphere packaging. *Food Microbiology*, 60(2016), 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.016>: 62-72
- [27] Hassoun, A., & Karoui, R. (2016). Monitoring changes in whiting (*Merlangius merlangus*) filets stored under modified atmosphere packaging by front face fluorescence spectroscopy and instrumental techniques. *Food Chemistry*, 200, 343-353. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.028>:343-353
- [28] Rodrigues, B. L., Da Silveira Alvares, T., Sampaio, G. S. L., Cobral, C. C., Araujo, J. V. A., Franco, R. M., Mano, S. B., & Juior, C. A. C. (2016). Influence of vacuum and modified atmosphere packaging in combination with UV-C radiation on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets. *Food Control*, 60, 586-605. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.004>

- [29] Parlapani, F. F., Kormas, K. A., & Boziaris, I. S. (2015). Microbiological changes, shelf life and identification of initial and spoilage microbiota of sea bream fillets stored under various conditions using 16S rRNA gene analysis. *Journal of the Science Food Agriculture*, 95(12), 2386-2394. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6957>
- [30] Messina, C. M., Bono, G., Renda, G., La Barbera, L., & Santulli, A. (2015). Effect of natural antioxidants and modified atmosphere packaging in preventing lipid oxidation and increasing the shelf-life of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) fillets. *LWT-Food Science and Technology*, 62, 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.029>
- [31] Hansen, A.A., Moena, B., Rodbottena, M., Bergeta, I., & Pettersen, M.K. (2016). Effect of vacuum or modified atmosphere packaging (MAP) in combination with a CO₂ emitter on quality parameters of cod loins (*Gadus morhua*). *Food Packaging and Shelf Life*, 9, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.05.005>
- [32] Babic, J., Milijasevic, M., Vranic, D., Veskovic-Moracanin, S., & Djinovic-Stojanovic, J. (2015). Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of common carp (*Cyprinus carpio*) steaks. *Procedia Food Science*, 5, 2-5. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.084>
- [33] Garcia-Linares, M.C., Gonzalez-Fandos, E., Garcia-Arias, M.T., & Garcia-Fernandez, M.C., (2004). Microbiological and nutritional quality of sous vide or traditionally processed fish: Influence of fat content. *Journal of Food Quality*, 27(5), 371-387. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2004.00676.x>
- [34] Gonzalez-Fandos, E., Garcia-Linares, M.C., Villarino-Rodriguez, A., Garcia-Arias, M.T., & Garcia-Fernandez, M.C. (2004). Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the sous vide method. *Food Microbiology*, 21, 193-201. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(03\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(03)00053-4)
- [35] Andres-Bello, A., Garcia-Segovia, P. & Martinez-Monzo, J. (2009). Effects of vacuum cooking (Cook-Vide) on the physical-chemical properties of sea bream fillets (*Sparus aurata*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 18(1-2), 79-89. <https://doi.org/10.1080/10498850802581773>
- [36] Diaz, P., Garrido, M. D., & Banon, S. (2011). Spoilage of sous vide cooked salmon (*Salmo salar*) stored under refrigeration. *Food Science and Technology International*, 17(1), 31-37. <https://doi.org/10.1177/1082013210368744>
- [37] Çetinkaya, S., Bilgin, Ş., Ertan, Ö. O., & Bilgin, F. (2015). Vakum paketli pişirme yöntemi (Sous Vide) ve gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792)'na uygulanması. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 11(2), 35-44.
- [38] Ceylan, Z., Şengör G.F.Ü., & Gönülal O. (2015, March 23-24). The Effects of sous vide technology combined with different herbals on sensorial on physical quality of fish species caught in The Northern Aegean Sea and Marmara Sea, ICFAEST 2015: 17th International Conference on Fisheries, Aquaculture Economics and Seafood Trade, Prag, Czech Republic.
- [39] Şengör, G. F. Ü., Ceylan, Z., & Alkan, T. (2015, Eylül 1-4). Farklı baharatlarla işleme alınan ve sous vide tekniği ile pişirilen somon balığı'nın (*Salmo Salar*) raf ömrünün belirlenmesi, 18. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- [40] Çetinkaya, S. (2020). The effects of sous-vide cooking method on rainbow trout by adding natural antioxidant effective sage: basic quality criteria. *Natural and Engineering Sciences*, 5, 167-183. <https://doi.org/10.28978/nesciences.832987>

- [41] Humaid, S., Nayyar, D., Bolton, J., Perkins, B., & Skonberg D. I. (2020). Refrigerated shelf-life evaluation of high pressure processed, raw and sous vide cooked lobster. *High Pressure Research*, 40(3), 444-463. <https://doi: 10.1080/08957959.2020.1774753>
- [42] Crobotova, J., Mozuraityte, R., Standal, I. B., & Rustad, T. (2019). The influence of cooking parameters and chilled storage time on quality of sous-vide atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(5), 505-518. <https://doi:10.1080/10498850.2019.1604595>
- [43] Wan, J., Cao, A., & Cai, L. (2019). Effects of vacuum or sous-vide cooking methods on the quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 18, 1-9. <https://doi: 10.1016/j.ijgfs.2019.100181>
- [44] Hernandez, E. P., Almeida da Costa W., Furtado Araujo, E. A., Villa, P. M., Henriques Lourenço, L. F., & Carvalho Junior, R. (2020). Influence of grilling pretreatment and optimization of sous vide processing parameters on the physicochemical and microbiological quality of pirarucu fillet. *Food Science and Technology International*, 27(1), 84-96. <https://doi: 10.1177/1082013220934257>
- [45] Hassoun, A., Crobotova J., Rustad T., Heia, K., Lindberg S. K., & Nilsen, H. (2020). Use of spectroscopic techniques for a rapid and non-destructive monitoring of thermal treatments and storage time of sous-vide cooked cod fillets. *Sensors*, 20(8), 2-17. <https://doi:10.3390/s20082410>
- [46] Bolat, Y., Genç İ. Y., Tunca Y., & Demirayak, M. (2018). Effect of laurel (*Laurus nobilis*) and curcuma (*Curcuma longa*) on microbiological, chemical and sensory changes in vacuum packed sous-vide european sea bass (*Dicentrarchus labrax*) under chilled conditions. *Food Science and Technology*, 39, 159-165. <https://doi:10.1590/fst.41217>
- [47] Polat, S., & Fenercioğlu, H. (2014). Gıda ambalajlamasında nanoteknoloji uygulamaları: inorganik nanopartiküllerin kullanımı. *Gıda Dergisi*, 39(3), 187-194. <https://doi:10.5505/gida>
- [48] Tarhan, Ö., Gökmen, V., & Harsa, Ş. (2010). Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. *Gıda Dergisi*, 35(3), 219-225.
- [49] Sürengil, G., & Kılınç, B. (2011). Gıda ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *Journal of Fisheries Sciences*, 5(4), 317-325. <https://doi:10.3153/jfscm.2011036>
- [50] Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- [51] Cha, D. S., & Chinnan, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 223-237. <https://doi:10.1080/10408690490464276>
- [52] Boyacıoğlu, D. (2015). Gıda ambalajlamada nanoteknoloji uygulamaları. http://dilekboyacioglu.com/Gida_Ambalajlamada_Nanoteknoloji.pdf
- [53] Azeredo, H. M. C. (2009). Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42(9), 1240-1253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.019>
- [54] Mills, A., & Hazafy, D. (2009). Nanocrystalline SnO₂-Based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. *Sensor and Actuators B: Chemical*, 136, 344-349. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2008.12.048>
- [55] Yılmaz, M., & Altay, F. (2014). Gıda ambalajlarında nanoteknolojik uygulamalar ve faz değişim materyalleri. *Gıda Dergisi*, 39(6), 371-378. <https://doi:10.15237/gida.GD14024>

- [56] Yam, K. L., Takhıstov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70(1), 1-10. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>
- [57] Öksüztepe, G., & Beyazgül, P. (2014). Akıllı ambalajlama sistemleri ve gıda güvenliği. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 29(1), 67-74.
- [58] Gök, V. (2007). Gıda paketleme sanayinde akıllı paketleme teknolojisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2007(1), 45-58.
- [59] Hecer, C. (2012). Et teknolojisinde ambalajlama yöntemleri. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 31(1), 57-61.
- [60] Hepsağ, F., & Varol, T. (2018). Intelligent packaging use in food industry and traceability. *Adyütayam*, 6(1), 29-39.
- [61] Üçüncü, M. (2011). *Gıda ambalajlama teknolojisi*. Ambalaj Sanayicileri Derneği.
- [62] Ceylan, Z., Şengör, G. F. Ü., & Yılmaz, M. T. (2018). Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Journal of Food Engineering*, 229, 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.038>
- [63] Ceylan, Z., Meral, R., Karakaş, C. Y., Dertli, E., & Yılmaz, M. T. (2018). A novel strategy for probiotic bacteria: ensuring microbial stability of fish fillets using characterized probiotic bacteria-loaded nanofibers. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.002>
- [64] Ceylan, Z., Meral, R., Cavidoğlu, İ., Karakaş C. Y., & Yılmaz, M. T. (2018). A new application on fatty acid stability of fish fillets: coating with probiotic bacteria-loaded polymer-based characterized nanofibers. *Journal of Food Safety*, 38(6), 1-9. <https://doi:10.1111/jfs.12547:1-9>
- [65] Meral, R., Alav, A., Karakaş, C. Y., Dertli, E., Yılmaz, M. T., & Ceylan, Z. (2019). Effect of electrospun nisin and curcumin loaded nanomats on the microbial quality, hardness and sensory characteristics of rainbow trout fillet. *Food Science and Technology*, 113, 1-8. <https://doi:10.1016/j.lwt.108292:1-8>
- [66] Meral, R., Ceylan, Z., & Köse, Ş. (2019). Limitation of microbial spoilage of rainbow trout fillets using characterized thyme oil antibacterial nanoemulsions. *Journal of Food Safety*, 39(4), 1-7. <https://doi:10.1111/ifs.12644:1-7>
- [67] Ceylan, Z. (2019). A new cost-effective process for limitation of microbial growth in fish flesh: Wrapping by aluminum foil coated with electrospun nanofibers. *Journal of Food Safety*, 39(5), 1-8. <https://doi:10.1111/jfs.12697:1-8>
- [68] Durmuş, M., Özoğul, Y., Köşker A. R., Uçar, Y., Boğa, E. K., Ceylan, Z., & Özoğul, F. (2019). The function of nanoemulsion on preservation of rainbow trout fillet. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 895-904. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04122-9>
- [69] Ekin, M. M., Alav, A., Meral, R., & Ceylan, Z. (2019, Aralık 20-22). *Nar çekirdeği yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanmış yenilebilir hidrojel filmlerin balık filetolarının mikrobiyal yükü üzerine etkisi*. Ispen 3. Uluslararası Tarım, Hayvancılık ve Kırsal Kalkınma Kongresi, Van, Türkiye.
- [70] Özoğul, Y., Yuvka, I., Uçar, Y., Durmuş, M., Köşker, A. R., Öz, M., & Özoğul, F. (2017). Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. *LWT-Food Science and Technology*, 75, 677-684. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.009>

- [71] Hashemabad, Z. N., Shabanpour, B., Azizi, H., Ojagh, M.S., & Alishahi, A. (2018). Effects of TiO₂ nanocomposite packaging and gamma irradiation on the shelf-life of rainbow trout stored at (+4 °C). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18, 1387–1397. [https://doi: 10.4194/1303-2712-v18_12_07](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_12_07)
- [72] Tang, Z. P., Chen C. W., & Xie, J. (2018). Development of antimicrobial active films based on poly(vinyl alcohol) containing nano-TiO₂ and its application in macrobrachium rosenbergii packaging. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13702>
- [73] Winayu, I. J., Ekantari, N., PuspitaI, D., Budhijanto, W., & Nugraheni, P. S. (2019). The effect of reduced acetic acid concentration on nano-chitosan formulation as fish preservative. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 633, 1-6. <https://doi:10.1088/1757-899X/633/1/012040>
- [74] Hajji, S., Hamdi, M., Boufi, S., Li, S., & Nasri, M. (2019). Suitability of chitosan nanoparticles as cryoprotectant on shelf life of restructured fish surimi during chilled storage. *Cellulose*, 26, 6825-6847. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02555-1>
- [75] Mizielinska, M., Kowalska, U., Jarosz, M., & Suminska, P. (2018). A comparison of the effects of packaging containing nano ZnO or polylysine on the microbial purity and texture of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Nanomaterials*, 8(3), 158-171. <https://doi.org/10.3390/nano8030158>

